

КИБЕРНЕТИЗАЦИЯ
НАУЧНОГО
ЭКСПЕРИМЕНТА

Министерство высшего и среднего специального образования
Латвийской ССР
Латвийский ордена Трудового Красного Знамени
государственный университет имени Петра Стучки
Научно-исследовательский институт физики твердого тела

КИБЕРНЕТИЗАЦИЯ НАУЧНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА, 8

Межведомственный сборник научных трудов



Латвийский государственный университет им. П.Стучки
Рига 1978

КИБЕРНЕТИЗАЦИЯ научного эксперимента, 8: Межвед. сб.
научн. трудов. - Рига: ЛГУ им. П. Стучки, 1978. - 140 с.

В восьмом выпуске сборника рассмотрены проблемы использования мини-ЗЕМ типа М-6000 и цифровых приборов, возникающие при организации систем измерения и обработки спектров ЭПР, спектров ИК-поглощения, Фурье-спектров, кривых термостимулированной люминесценции, а также электрических релаксационных характеристик твердых тел. Предназначается для научных работников и студентов, интересующихся вопросами автоматизации научных экспериментов.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Ю. Кузьмин (главный редактор), Д. Миллер (зам. главного редактора); В. Полмане, Я. Страумен, И. Тале (ответственный за выпуск), Э. Тарденак, Я. Янсон

Печатается по решению редакционно-издательского совета
ЛГУ им. П. Стучки от 16 июня 1978 года

© Латвийский государственный университет им. П. Стучки, 1978

К 30500-100у 176-78
М 812(II)-78

Х.Глафке (ГДР), Ю.Я.Кузьмин, А.Н.Назарова
НИИ ФТТ ЛГУ им.Петра Стучки

Диалоговая система РИГА-РОСТОК для анализа
кривых типа термостимулированной
люминесценции

Описана система, позволяющая в режиме диалога с ЭВМ М-6000 анализировать экспериментальные данные, поданные кривым термостимулированной люминесценции и электронной эмиссии. Определяются следующие параметры: порядок кинетики, энергия активации ловушек, частотный фактор и относительные значения концентрации ловушек.

Измерение кривых термостимулированной люминесценции (КТСЛ) является популярным способом получения информации о твердом теле.

Известны две модели, описывающие КТСЛ для случая одного вида дефектов (ловушек) в кристаллах: модель кинетики первого порядка и модель кинетики второго порядка [1]. Способы приближенной оценки параметров таких моделей основаны на достаточно сильных ограничениях, налагаемых на анализируемые КТСЛ, т.е. предполагается аддитивность элементарных кривых термостимулированной люминесценции, а также их неперекрываемость.

В настоящей работе предлагается способ решения задачи анализа КТСЛ в отсутствие указанного требования. В основе способа лежат идеи, заложенные в системе ВАРИАТОР [2], созданной для анализа спектров ИК-поглощения. В описываемой диалоговой системе РИГА-РОСТОК используется режим диалога человека с ЭВМ. Человек, имея априорную информацию об экспериментальной КТСЛ, варьирует параметры моделей. ЭВМ вычисляет контуры КТСЛ, соответствующие моделям, производит определение кривой невязки между экспериментальными и расчетными кривыми, определяет ряд вспомогательных параметров,

реализует ввод-вывод данных и другие операции.

Диалог ведется с использованием дисплеев СИГД и СИД-1000.

Модели для анализа КТСЛ

Как отмечалось выше, система позволяет анализировать в диалоговом режиме кривые термостимулированной люминесценции и других подобных эффектов, которые, как известно, описываются с помощью моделей:

$$\frac{dn_j}{dt} = -\frac{n_j}{\tau_j} \quad (1)$$

либо

$$\frac{dn_j}{dt} = -\frac{n_j}{\tau_j} \cdot \frac{n_j}{n_{j0}} \quad (2)$$

Решениями этих уравнений считается соответственно

$$J'_j(T) = N_{j0} \cdot S_j \cdot \exp(-E_j/kT) \cdot \exp(-F); \quad (3)$$

$$J''_j(T) = N_{j0} \cdot S_j \cdot \exp(-E_j/kT) \cdot [1+F]^{-2}, \quad (4)$$

где

$$F = F(T) = (S_j/B) \cdot \int_{T_0}^T \exp(-E_j/k \cdot g) \cdot dg. \quad (5)$$

Здесь приняты обозначения: N_{j0} - общее число j -ловушек; N_j - число j -ловушек, заполненных к моменту t ; t - текущее время; τ_j - время жизни носителя заряда в j -ловушке; J_j - интенсивность люминесценции; T - температура образца в момент t ; T_0 - начальная температура образца; S_j - частотный фактор для j -ловушек; E_j - энергия активации для j -ловушек; k - постоянная Больцмана; B - скорость нагрева образца; g - параметр интегрирования.

При наличии M типов j -ловушек выражения (3) и (4) преобразуются

$$J'(T) = \sum_{j=1}^M J'_j(T), \quad (6)$$

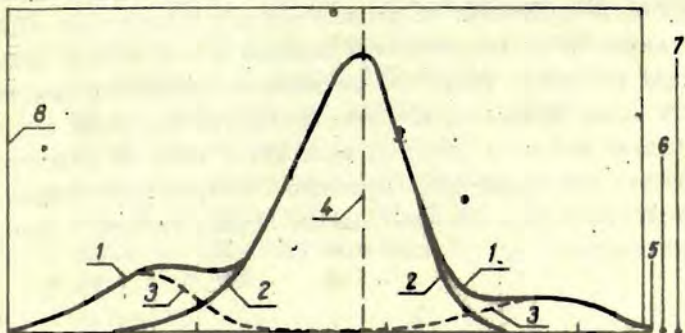
$$J''(T) = \sum_{j=1}^M J''_j(T). \quad (7)$$

По традиции, - с формулами (1), (3) и (6) будем связывать процессы первого порядка, а с формулами (2), (4) и (7) - процессы второго порядка.

В системе РИГА-РОСТОК запрограммированы обе модели.

Клавиатура СИГД используется для задания физиком инструкций, именам которых соответствуют коды клавиш СИГД; нажатие на последние вызывает исполнение инструкции.

Дисплей СИД-1000 применен для ведения оперативного протокола при обмене алфавитно-цифровой информацией между физиком и ЦВМ.



Р и с. 1. Пример вывода информации на экране графического дисплея СИГД.

1 - исходный экспериментальный спектр (СП); 2 - модель одной полосы (МОД); 3 - разность кривых "спектр-модель" (РС); 4 - линия, отмечающая пик полосы; 5 - энергия активации для I-й модели (E); 6 - общее число ловушек для I-й модели (N); 7 - частотный фактор для I-й модели (S); 8 - рамка, указывающая границы изменения информации на экране.

Суть анализа КТСИ заключается в том, что человек с помощью инструкции организует синтез такой группы (от I до 10) моделей, которая дает разность (кривая 3 на рис.1) желаемого вида, например, близкую к нулю или к фоновой кривой. При таком подходе активно используется априорная информация о физическом процессе: минимальное количество

полос, известное из вспомогательных экспериментов, оцененные ранее параметры отдельных полос, наличие и характер фона и т.п. Все это позволит оперативно проверять различные гипотезы без перепрограммирования критериев сравнения экспериментальных и расчетных КТСЛ.

На первый взгляд кажется, что такой подход менее объективен, чем подход, основанный на использовании полноты автоматических программ. Однако дело обстоит наоборот, поскольку в автоматических программах зафиксирован критерий сравнения экспериментальных и расчетных КТСЛ, что приводит к систематическим ошибкам в результатах анализа при изменении характера экспериментальной информации. По сути дела, использование автоматических программ заменяет задачу поиска в спектрах компонент, имеющих физический смысл, на задачу аппроксимации спектров функциональными зависимостями. Эти две задачи, строго говоря, сильно различаются,

Инструкции в системе РИГА-РОСТОК

Для манипулирования числовой и графической информацией разработаны три группы инструкций.

А. Группа пересылок данных позволяет вводить информацию со стандартных для М-6000 устройств, выводить информацию на эти устройства и осуществлять пересылку данных внутри ЭВМ.

1. ЭВМ * - ввод с перфоленки спектра КТСЛ.
2. ГАШ - гашение результатов расчета.
3. ♂ - ввод эталонного спектра в массивы РС, СП, МОД (см.рис.1).

* Здесь и далее дано обозначение клавиши СИГД, соответствующей инструкции; другие сокращения пояснены в тексте к рис.1; кроме того: У - вспомогательный массив, Т - массив значений температуры точек КТСЛ, знак ::= соответствует операции пересылки массива с обозначением справа от ::= в массив с обозначением слева от ::=.

4. $\bar{5}$ * - вывод на перфоленту массивов T и PC.
5. V - вывод на печать массивов T, PC, СП.
6. B - вывод исходного экспериментального спектра (СП) на двухкоординатный графопроектор ПДС-021М.
7. A - вывод массивов T и PC на ПДС-021М.
8. M - вывод массивов T и МОД на ПДС-021М.
9. D - вывод рамки графика на ПДС-021М.
10. 2 - вывод на дисплей СИД-1000 параметров $V(I)$, $E(I)$, $N(I)$, $S(I)$, $T\theta$ для первой модели. **
11. 3 - вывод на СИД-1000 параметров i -й модели (i задается с пульта СИД-1000).
12. 6 - ввод с СИД-1000 параметров i -й модели (i и параметры задаются с СИД-100).
13. 7 - пересылка параметров первой модели в i -ю модель (i задается с СИД-1000).
14. \bar{C} - вывод на ПДС-021М массивов T, PC.
15. $\bar{\Phi}$ - G1 ::= PC ***
16. \bar{H} - G2 ::= PC
17. \bar{B} - G3 ::= PC
18. \bar{A} - СП ::= PC
19. П - МОД ::= PC
20. Я - У ::= PC
21. 9 - PC ::= У
22. Ж - PC ::= МОД
23. Д - PC ::= СП
24. Л - PC ::= G3
25. \bar{O} - PC ::= G2
26. \bar{P} - PC ::= G1

* Здесь и далее черта над обозначением клавиши означает признак ввода в нижнем регистре СИД.

** Здесь: V - порядок модели, E - энергия активации N - концентрация доушек, S - частотный фактор, T θ - положения пика полосы.

*** G1, G2, G3 - вспомогательные массивы для хранения вариантов счета.

Б. Группа вариаций параметров позволяет оперативно изменять тип моделей и их параметры, а также режим вычисления.

- 27. 4 - задается малое значение параметра D .
- 28. 5 - задается большое значение параметра D .
- 29. ↑ - $N(I) ::= N(I) + D$.
- 30. ↓ - $N(I) ::= N(I) - D$.
- 31. J - задается первый порядок модели процесса.
- 32. C - задается второй порядок модели процесса.
- 33. U - показ на СИГД одной первой модели (кривая 2 на рис. I).
- 34. K - показ на СИГД всех десяти моделей.
- 35. P - ввод параметра P с СИД-1000 (см. инструкции 36 и 41).
- 36. T - $T\theta ::= E(I)/P$.
- 37. \ - $T\theta ::= T\theta + D$ (сдвиг вправо на шаг D 4-й линии, рис. I).
- 38. / - $T\theta ::= T\theta - D$ (сдвиг влево на шаг 4-й линии, рис. I).
- 39. R - $Tj ::= T(j), j ::= j + 1$ (сдвиг вправо 4-й линии на одну точку массива T, рис. I).
- 40. L - $Tj ::= T(j), j ::= j - 1$ (сдвиг влево 4-й линии на одну точку массива T, рис. I).
- 41. B - $E(I) = E(\theta)/P$.
- 42. B - определение $E(I)$ как производной в j -точке спектра СП (j задается с СИД-1000).
- 43. → - $E(I) ::= E(I) + D$.
- 44. ← - $E(I) ::= E(I) - D$.
- 45. 6 - см. 12-ю инструкцию группы пересылок данных.
- 46. P - расчет $S(I) ::= f(E(I), T\theta)$
- 47. / - $S(I) ::= S(I) + D$.
- 48. \ - $S(I) ::= S(I) - D$.
- 49. 6 - см. 12-ю инструкцию группы пересылок данных.
- 50. I - счет настроенной модели.

В. Группа вспомогательных инструкций

- 51. S - останов программы.
- 52. ? - запрос пояснения инструкции.

Структура программы и системы РИГА-РОСТОК

Рассмотрим программное обеспечение системы РИГА-РОСТОК (рис.2).

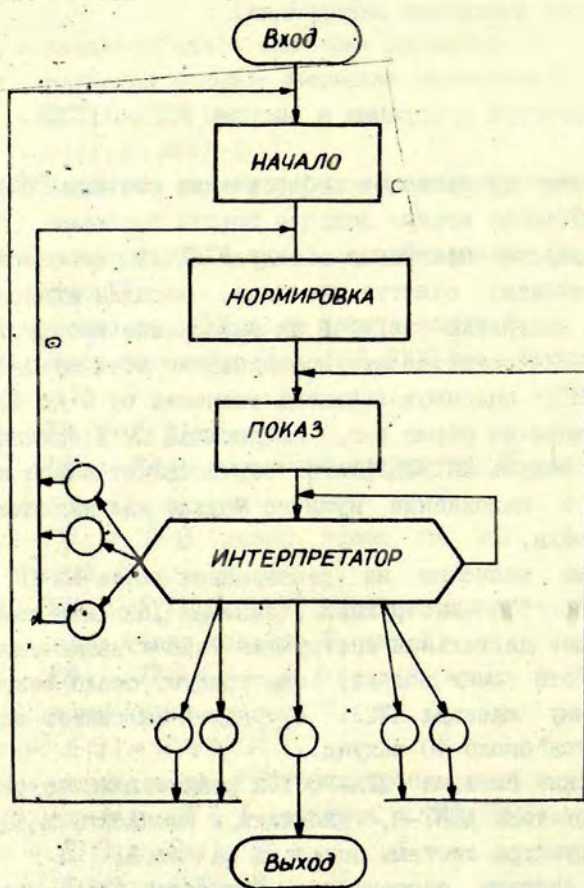
После запуска программы в модуле НАЧАЛО выполняются начальные установки: очистка массивов, загрузка эталонной кривой КТСЛ, настройка модулей на выполнение инструкций. Модуль НОРМИРОВКА осуществляет нормирование всех выводимых на дисплей СИГД^{*} массивов (граница значений от 0 до 1000). Выдачу информации по форме рис.1 на дисплей СИГД организует модуль ПОКАЗ. Модуль ИНТЕРПРЕТАТОР осуществляет опрос клавиатуры СИГД и нахождение нужного модуля для выполнения инструкции физика.

Программы написаны на расширенном языке BASIC^{*} и содержат около 550 инструкций, занимая 16К слов памяти М-6000. Наиболее длительная инструкция (кроме ввода-вывода информации) - это счет модели; она требует около секунды на каждую точку массива КТСЛ. В среднем на синтез одной модели требуется^{*} около 40 секунд.

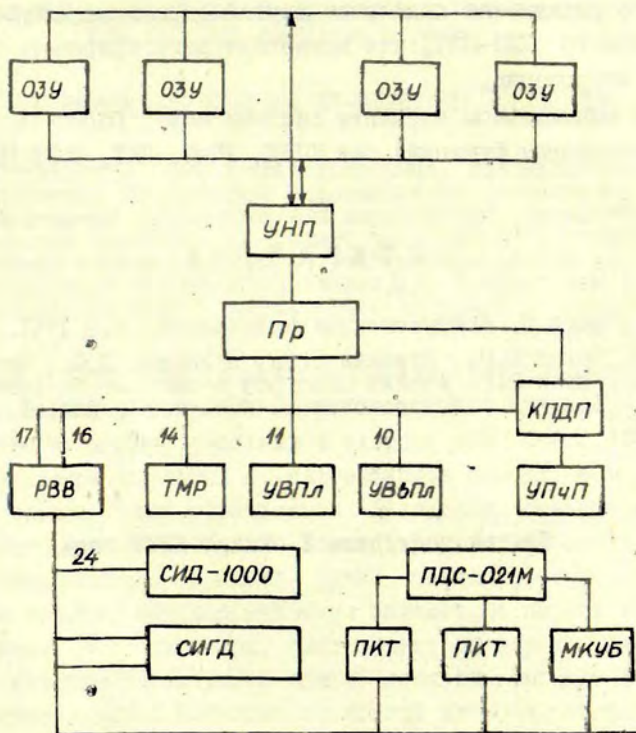
Технически система РИГА-РОСТОК реализована на стандартных устройствах АСВТ-М, входящих в комплекты М-6000. Аппаратная структура системы показана на рис.3.

Основу системы составляют: процессор (Пр), четыре блока оперативного запоминающего устройства (ОЗУ), устройство наращивания памяти (УНП), канал прямого доступа в память (КПДП), устройство параллельной печати (УПЧП), расши-

^{*} Более подробная информация об этом языке содержится в статье Кузьминой Л.М., Кузьмина Ю.Я. Расширение BASIC М-6000. См. наст. об., с. 46-58.



Р и с. 2. Структура программы системы РИГА-РОСТОК.
Кружками обозначены инструкции.



Р и с. 3. Структура системы РИГА-РОСТОК на основе М-6000.

Обозначения даны в тексте. Цифрами указаны номера каналов сопряжения устройств.

ригель ввода-вывода (РВВ), таймер (ТМР), устройство ввода перфоленты (УВВПл), устройство вывода перфоленты (УВПл), алфавитно-цифровой дисплей (СИД-1000) и графический дисплей (СИГД). С помощью преобразователей код-ток и модуля кодового управления подключен двухкоординатный самопишущий потенциометр ПДС-021, что позволяет регистрировать графическую информацию.

В минимальном варианте система может работать (с утратой некоторых функций) без КПШП, УПЧП, ПКТ, МКУБ, ПДС-021.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Говри Д. Люминесценция кристаллов. Л., 1961. 199 с.
2. Закис Ю.Р., Кузьмин Ю.Я., Кузьмина Л.М., Москальков А.В., Пуце Л.Р. Анализ спектров в системе "человек - машина". - Ж. прикл. спектроскопии, 1972, т.17, вып. 6, с. 1098-1101.

Статья поступила 2 января 1978 года.

Л.М.Кузьмина, Н.А.Круглова, В.А.Растопчина
НИИ ФТИ ЛГУ им.Петра Стучки

ДИАЛОГОВАЯ ПРОГРАММА ДЛЯ АНАЛИЗА ИК-СПЕКТРОВ ПОГЛОЩЕНИЯ

Рассматривается диалоговая программа, предназначенная для разложения ИК-спектров поглощения на элементарные полосы, описываемые гауссовыми или лоренцевыми функциями. В режиме диалога пользователь задает число полос и начальные приближения параметров полос. Оптимальные оценки параметров определяются методами оптимизации. Посредством диалектив пользователь может варьировать алгоритм обработки.

Начиная с 1971 года успешно эксплуатируется диалоговая система ВАРИАТОР-2, реализованная на ЦВМ "Днепр-1" [1-3]. Одной из задач, решаемых в системе ВАРИАТОР-2, является разложение спектров на элементарные полосы, описываемые гауссовыми или лоренцевыми функциями. Разложение ведется в процессе непрерывного взаимодействия пользователя с ЦВМ: пользователь вращает ручки потенциометров на специальном пульте, задавая значения параметров полос; машина опрашивает потенциометры, синтезирует спектр и одновременно с исходным спектром и кривой невязок выводит его на экран осциллоскопа. Наблюдая за кривой невязок, пользователь последовательно подгоняет параметры всех полос. Степень совпадения исходного спектра с синтезированными пользователь оценивает ориентировочно, поэтому найденные оценки параметров не являются оптимальными. При наличии в спектре большого числа полос пользователю трудно определить, какой из параметров которой полосы надо менять, чтобы улучшить совпадение исходного спектра с синтезируемым.

Рассматриваемая в данной статье диалоговая программа реализована на УВК М-6000 с оперативной памятью 16К слов. Режим диалога с машиной организован с клавиатуры графического дисплея СИГД. Числовые параметры вводятся с клавиатуры дисплея СИД-1000, а сообщения машины выводятся на его

экран. Программа написана на расширенном BASIC*. Основное отличие алгоритма разложения спектров на элементарные полосы данной программы от алгоритма, реализованного в системе ВАРИАТОР-2, состоит в том, что пользователь в режиме диалога задает число полос в спектре и лишь начальные приближения параметров полос; оптимальные оценки этих параметров находятся методами оптимизации.

После запуска программа запрашивает у пользователя вид функции, описывающей элементарную полосу (рис.). Это может быть гауссова функция

$$Y(x) = A \exp[-2,7762(x-B)^2/C^2]$$

или функция Лоренца

$$Y(x) = A / [1 + 4((x-B)/C)^2],$$

где A - максимальное значение амплитуды полосы, B - положение максимума, C - полуширина полосы. Получив ответ, программа начинает опрос клавиатуры СИГД. 12-ти директивам пользователя соответствуют следующие символы клавиатуры СИГД: .

- В - ввод спектра с перфоленты и вывод его в виде графика на экран СИГД;
- Л - логарифмирование спектра;
- Ф - вычитание линейного фона из спектра;
- И - определение площади под спектром;
- М - задание в режиме диалога начальных значений параметров одной из выбранных пользователем полос;
- С - определение суммарной модели спектра, в которую входят все полосы, заданные пользователем;
- О - модуль оптимизации параметров полос;
- П - печать начальных и полученных в результате оптимизации значений параметров полос;
- Г - вывод на самопишущий прибор разлагаемого спектра отдельных полос;
- Э - ввод эталона для проверки работоспособности программы;

Я - останов программы;

I - 8 - значения параметров, заданные пользователем по директиве M, закрепляются за полосой с указанным номером. На экране СИГД высвечивается спектр и полоса, вычисленная по этим значениям параметров.

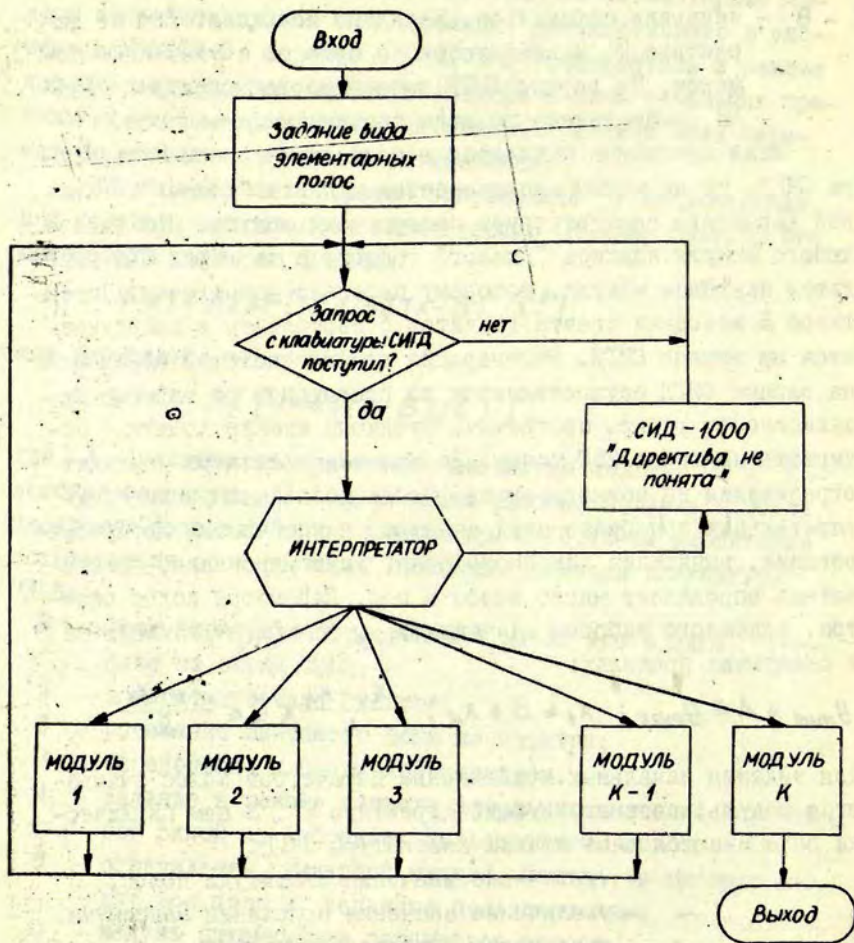
Если программа находится в состоянии опроса клавиатуры СИГД, то на экране высвечивается надпись "Диалог". Каждой директиве соответствует программный модуль. При вызове любого модуля надпись "Диалог" гаснет, а на экран СИД выводится название модуля, которому передано управление. Директивой В исходный спектр вводится с перфокарты и высвечивается на экране СИГД. Регенерация графического изображения на экране СИГД осуществляется по прерыванию от таймера независимо от работы программы. Вводимый спектр должен содержать не более 250 точек. На значения спектра никакие ограничения не накладываются. После выполнения ряда преобразований спектра, в частности логарифмирования, вычитания линейного фона, интегрирования, пользователь определяет число полос в нем. Параметры полос спектра, заданного набором значений $(x_i, y_i), i=1, \dots, N$, изменяются в следующих пределах:

$$y_{min} \leq A \leq y_{max}; \quad x_1 \leq B \leq x_N; \quad \frac{x_N - x_1}{N} \leq C \leq \frac{x_N - x_1}{2}.$$

Для задания начальных приближений параметров полос вызывается модуль, соответствующий директиве M. В нем циклически опрашиваются семь клавиш клавиатуры СИГД:

- ↑ - увеличение значения амплитуды полос,
- - увеличение значения положения максимума,
- ↗ - увеличение значения полуширины,
- ↓ - уменьшение значения амплитуды полосы,
- ← - уменьшение значения максимума,
- ↘ - уменьшение значения полуширины,
- ↖ - выход из циклического опроса этих клавиш.

Нажимом указанных клавиш можно изменять (увеличивать или уменьшать) значения параметров на величину, равную 0,3% указанных пределов. Первоначально все параметры равны нулю. Значения вводимых параметров высвечиваются на экране СИГД одновременно с исходным спектром в виде трех векторов: пер-



Р и с. Блок-схема диалоговой программы для анализа ИК-спектров поглощения.

вый вектор длиной B идет вдоль оси X , второй вектор длиной A выходит из конца первого вектора и идет параллельно оси Y , из точки, лежащей на втором векторе на высоте $A/6$, параллельно оси X выходит третий вектор длиной C . В данной программе не предусмотрен пересчет подбираемой полосы после каждого изменения ее параметров. Однако в любой момент полосу можно высветить, набрав директиву I-8. По этой директиве параметрам полосы (номер полосы совпадает с номером директивы) присваиваются значения, заданные векторами в модуле, соответствующем директиве M , а также высвечиваются значения полосы; последняя высвечивается одновременно с исходным спектром. Аналогичным образом последовательностью директив и одним из восьми номеров задаются начальные значения параметров для остальных полос. После задания начальных значений параметров полос вызывается программа оптимизации, благодаря чему при подгонке параметров полос для них не требуется задания достаточно точных начальных приближений.

Для оптимизации параметров полос пользователю предлагаются два метода, которыми он может воспользоваться по своему усмотрению. По методу Марквардта [4] параметры определяются из условия минимума функционала

$$\Phi(x, \alpha_1, \dots, \alpha_m) = \sum_{i=1}^N [y_i - f(x_i, \alpha)]^2 + \sum_{i=1}^m (\Delta \alpha_i)^2,$$

где $f(x, \alpha)$ - сумма гауссовых или лоренцевых функций,

$\alpha = (\alpha_1, \dots, \alpha_m)$ - вектор параметров,

$\Delta \alpha_i = \alpha_i - \alpha_i^0$ - поправки к оценкам параметров.

В методе обобщенного градиентного спуска с растяжением пространства в направлении почти градиента [5] используется критерий минимума $\Phi(x, \alpha_1, \dots, \alpha_m)$, где

$$\Phi(x, \alpha_1, \dots, \alpha_m) = \max_i |y_i - f(x_i, \alpha)|.$$

Для проверки работы обоих методов были получены серии кривых, являющихся суммой двух, четырех и пяти гауссовых функций, значения которых менялись в пределах 0-1. На часть кривых был наложен шум с нормальным законом распределения, составляющий 1%, 3% от максимального значения кривой. Число точек на кривых равнялось 50. Основные результаты, полученные при использовании первого и второго



Т а б л и ц а 1

Основные результаты, полученные при оптимизации параметров методом Марквардта

Шум, %	Число пиков	$\varphi(\alpha)$	Число ите- раций	Время сче- та одной итерации, с	Δ
-	2	$6,6410 \cdot 10^{-13}$	4	224	0
	4	$6,8901 \cdot 10^{-7}$	3	756	$7,3 \cdot 10^{-5}$
	5	$8,08 \cdot 10^{-11}$	5	1200	$6,819 \cdot 10^{-11}$
I	2	$5,32 \cdot 10^{-3}$	4	235	$1,147 \cdot 10^{-4}$
	4	$5,21 \cdot 10^{-3}$	4	1193	$1,71 \cdot 10^{-2}$
	5	$4,9209 \cdot 10^{-3}$	4	1200	$4,4 \cdot 10^{-4}$
3	2	$4,78 \cdot 10^{-2}$	3	235	$1,048 \cdot 10^{-3}$
	4	$4,75 \cdot 10^{-2}$	4	840	$1,399 \cdot 10^{-2}$
	5	$3,94 \cdot 10^{-2}$	6	1200	$1,3 \cdot 10^{-02}$

Т а б л и ц а 2

Основные результаты, полученные при оптимизации параметров методом обобщенного градиентного спуска с растяжением пространства

Шум, %	Число пиков	$\varphi(\alpha)$	Число ите- раций	Время сче- та одной итерации, с	Δ
-	2	$5,48363 \cdot 10^{-6}$	52	37	$9,916 \cdot 10^{-11}$
	4	$4,4465 \cdot 10^{-5}$	83	49	$2,2835 \cdot 10^{-6}$
	5	$6,89049 \cdot 10^{-5}$	105	57	$3,50337 \cdot 10^{-7}$
I	2	$2,5945 \cdot 10^{-2}$	41	37	$3,5125 \cdot 10^{-4}$
	4	$2,2045 \cdot 10^{-2}$	68	49	$2,48843 \cdot 10^{-3}$
	5	$2,21415 \cdot 10^{-2}$	55	57	$3,35468 \cdot 10^{-4}$
3	2	$7,31137 \cdot 10^{-2}$	38	37	$3,6139 \cdot 10^{-3}$
	4	$6,84354 \cdot 10^{-2}$	22	49	$5,71587 \cdot 10^{-3}$
	5	$5,1331 \cdot 10^{-2}$	48	57	$6,19024 \cdot 10^{-3}$

методов, приведены соответственно в табл. I и 2. Время счета обоих методов быстро растет с увеличением числа полос. Относительно большое время счета обоих методов объясняется тем, что программы написаны на языке интерпретирующего типа.

Для метода Марквардта значение функционала $\Phi(\alpha)$ в отсутствие шума сравнимо с машинной точностью счета, равной 10^{-6} . Для зашумленных кривых удовлетворяется неравенство

$$\Phi(\alpha) < \sigma^2 N,$$

где σ^2 - дисперсия шума, N - число точек, что также свидетельствует о хорошей подгонке исходной кривой моделью.

Значение нормы функционала в обоих методах вычисляется по разным формулам и поэтому сравнение их между собой проводилось по общему времени счета и до точности найденных значений параметров, т.е. $\Delta = \sum_{i=1}^m (\alpha_i - \hat{\alpha}_i)^2$, так как поведение методов изучалось на синтезированных кривых и точные значения параметров полос известны. Метод Марквардта для кривых без шума имеет преимущество как во времени, так и в точности подбираемых параметров. Для кривых с наложенным шумом время счета и величина Δ приблизительно одинаковы. Выбор начальных значений параметров полос не влияет на скорость сходимости методов, но может явиться причиной неоднозначного разложения. Именно поэтому участие самого пользователя в определении числа полос и задании начальных приближений для параметров полос обеспечит разложению максимум физического смысла.

ЛИТЕРАТУРА

1. Закис Ю.Р., Кузьмин Ю.Я., Кузьмина Л.М., Москальнов А.В., Пуде Л.Р. Анализ спектров в системе "человек - машина". - Ж. прикл. спектроскопии, 1972, т. 17, № 6, с. 1098-1101.

2. Кузьмина Л.М., Назарова А.Н. Диалоговая система для обработки спектров - ВАРИАТОР. - Учен. зап. Латв. ун-та, 1975, т. 225, с. 104-110.

3. Кузьмина Л.М. Система диалоговой обработки экспериментальных данных "Вариатор-2". - В кн.: Диалоговые системы. Вып. I. Рига, 1977, с.108-115.

4. Marquart D.W. An Algorithm for Least Squares Estimation of Nonlinear Parameters. - J.Soc.Indust.Appl.Math., 1963, vol.11, No.2, p.431-441.

5. Шор Н.З. Обобщенные градиентные методы минимизации негладких функций и их применение к задачам математического программирования. - Экономика и математические методы, 1976, т.12, вып.2, с.337-356.

Приложение

Листинг программы разложения ИК-спектров
с оптимизацией

```
1 DIM A[6,21Ф],B[9,1Ф],R[9,1Ф]
3 FOR I=1 TO 82
5 LET A[1,19+I]=Ф
7 NEXT I
15 PRINT " СИСТЕМА ПО РАЗЛОЖЕНИЮ СПЕКТРОВ НА "
16 PRINT " ПОЛОСЫ,ОПИСЫВАЕМЫЕ ФУНКЦИЯМИ ГАУССА"
19 CALL (3,Ф,Ф,А)
2Ф PRINT "ПЕРЕХОД НА РЕЖИМ ДИАЛОГА С СИГД"
21 CALL (4Ф)
22 PRINT "ДИАЛОГ"
23 CALL (4,48Ф,Ф,2,3)
25 CALL (39,Ф)
27 CALL (26,18,1,К4)
28 IF К4=Ф THEN 27
29 CALL (23,К4,7,8,1,К)
3Ф CALL (23,К4,7,11,1,К1)
31 CALL (23,К4,7,14,1,К2)
32 LET К4=К+1Ф*К1+1ФФ*К2
33 CALL (3,3,Ф,А)
34 LET А=А-7
35 CALL (3,2,Ф,А)
36 PRINT " "
37 CALL (4,48Ф,Ф,Ф,1)
39 CALL (31)
4Ф RFM ***** Л--ЛОГАРИФМ СПЕКТРА *****
41 IF К4=154 THEN 165
42 RFM ***** И--ИНТЕГРАЛ *****
43 IF К4=151 THEN 5ФФ
5Ф RFM ***** Я--ВЫХОД НА СТОП *****
51 IF К4=161 THEN 9999
52 RFM ***** В --ВВОД СПЕКТРА С FS *****
53 IF К4=167 THEN 3Ф5
54 RFM ***** Ф-- ФОН СПЕКТРА *****
55 IF К4=146 THEN 29Ф
56 RFM ***** Э-- ВВОД ЭТАЛОНА *****
57 IF К4=174 THEN 1ФФ
58 RFM ***** М-- МОДЕЛЬ ПОЛОСЫ *****
59 IF К4=155 THEN 199
61 RFM ***** С--СУММАРНАЯ КРИВАЯ *****
62 IF К4=163 THEN 261
63 RFM ***** Q--ОПТИМИЗАЦИЯ *****
64 IF К4=157 THEN 3ФФФ
65 RFM ***** 1=8 ПАРАМ. СООТВЕТС. ПОЛОСЫ *****
66 LET D=61
67 LET K=1
68 IF К4=D THEN 245
69 LET K=K+1
7Ф LET D=D+1
71 IF D<71 THEN 68
82 RFM ***** П--ПЕЧАТЬ ПАРАМЕТРОВ *****
83 IF К4=16Ф THEN 334
84 RFM ***** Г--ГРАФИК НА САМОПИСЕЦ *****
```

```

85 IF K4=147 THEN 9ФФФ
86 PRINT " НЕ ПОНЯЛ ПРИКАЗА"
99 GOTO 21
1ФФ PRINT "ВВОД ЭТАЛОНА"
1Ф5 READ N
1Ф7 FOR I=1 TO N
1Ф9 READ A[2,I],A[3,I]
112 NEXT I
113 GOSUB 117
114 GOTO 141
115 REM***** ПОДГОТОВКА ВУФЕРА ДЛЯ СИГД *****
117 LET A[5,1]=A[6,1]=-6
12Ф LET A[5,2]=A[5,5]=A[5,6]=A[6,2]=A[6,3]=A[6,6]=Ф
122 LET A[5,3]=A[5,4]=A[6,4]=A[6,5]=1ФФФ
123 LET A[5,7]=A[6,7]=A[5,N+8]=A[6,N+8]=-3
125 LET A[1,45]=A[1,49]=-3
126 LET K=3
13Ф GOSUB 147
132 GOSUB 157
135 FOR I=Ф TO N
136 LET A[6,I+7]=1ФФФ*A[3,I]/M1
137 LET A[6,I+N+8]=Ф
138 LET A[5,I+7]=A[5,I+N+8]=1ФФФ*(A[2,I]-A[2,1])/(A[2,N]-A[2,1])
139 NEXT I
14Ф RETURN
141 LET N1=2*N+5
143 GOSUB 186
145 GOTO 21
146 REM ***** ПОИСК M1 MAX *****
147 LET M1=A[K,1]
148 FOR I=2 TO N
149 IF M1>A[K,I] THEN 151
15Ф LET M1=A[K,I]
151 NEXT I
152 RETURN
155 REM*****ПОИСК M2 MIN*****
157 LET M2=A[K,1]
158 FOR I=2 TO N
159 IF M2<A[K,I] THEN 161
16Ф LET M2=A[K,I]
161 NEXT I
162 RETURN
165 PRINT "ЛОГАРИФИМОВАНИЕ"
167 PRINT "1-ЛОГАРИФМ, 2-МОДУЛЬ ЛОГАРИФМА"
169 INPUT A[1,1]
17Ф FOR I=1 TO N
172 IF A[1,1]=2 THEN 18Ф
174 LET E=LOG(A[3,I])
176 LET A[3,I]=E
178 NEXT I
179 GOTO 113
18Ф LET E=ABS(LOG(A[3,I]))
181 GOTO 176
184 REM ***** ВЫВОД НА СИГД *****
186 CALL (3,Ф,Ф,A)
188 CALL (1,A[5,1],A[6,1],N1)

```

```
190 CALL (3,1,φ,A)
192 RETURN
199 PRINT "ЗАДАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОЛОС"
200 FOR I=1 TO 7
201 LET A[5,I+N+7]=A[1,44+I]
202 LET A[6,7+I+N]=A[1,51+I]
203 NEXT I
204 LET N1=N+10
205 GOSUB 186
208 CALL (2,A)
209 IF A=φ THEN 208
210 IF ABS(A+.90625)<1.00000E-04 THEN 21
212 LET H=5
214 IF ABS(A+.95312)<1.00000E-04 THEN 225
215 IF A=-.9375 THEN 230
216 IF ABS(A+.921875)<1.00000E-04 THEN 240
218 LET H=-5
220 IF ABS(A+.929688)<1.00000E-04 THEN 225
221 IF ABS(A+.945313)<1.00000E-04 THEN 230
222 IF ABS(A+.914063)<1.00000E-04 THEN 240
223 GOTO 208
225 LET A[5,N+13]=A[5,N+11]=A[5,N+10]=A[5,N+10]+H
226 LET A[5,N+14]=A[5,N+14]+H
227 IF A[5,N+10]<1.000 THEN 205
228 LET A[5,N+10]=1.000
229 GOTO 205
230 LET A[6,N+11]=A[6,N+11]+H
232 LET A[6,N+13]=A[6,N+14]=A[6,N+11]/6
233 IF A[6,N+11]<1.000 THEN 205
234 LET A[6,N+11]=1.000
235 GOTO 205
240 LET A[5,N+14]=A[5,N+14]+H
242 IF A[5,N+14]<1.000 THEN 205
244 LET A[5,N+14]=1.000
245 PRINT "ВЫЧИСЛЕНИЕ ПОЛОСЫ ПО ЗАД.ПАРАМЕТРАМ"
246 LET L=3*K-2
247 LET A[1,19+L]=M1*A[6,N+11]/1.000
249 LET A[1,20+L]=A[5,N+10]*(A[2,N]-A[2,1])/1.000+A[2,1]
250 LET D=((A[2,N]-A[2,1])/2-(A[2,N]-A[2,1])/N)/5.000
251 LET A[1,21+L]=(A[5,N+14]-A[5,N+10])*D
252 LET L1=F+L
253 FOR I=1 TO 7
255 LET A[1,44+I]=A[5,N+I+7]
256 LET A[1,51+I]=A[6,N+I+7]
258 NEXT I
260 GOTO 265
261 PRINT "СУММАРНАЯ МОДЕЛЬ"
262 LET F=1
264 LET L1=22
265 FOR I=1 TO N
267 LET S=φ
269 FOR J=F TO L1 STEP 3
270 IF A[1,19+J]=φ THEN 278
272 LET D=(-2.7726*(A[2,I]-A[1,20+J])-2)/A[1,21+J]-2
```



```

274 IF D<-7Φ THEN 278
276 LET S=S+A[1,19+J]*EXP(D)
278 NEXT J
28Φ LET A[5,N+I+8]=A[5,I+7]
282 LET A[6,N+I+8]=S*1ΦΦΦ/M1
283 LET A[4,I]=S
285 NEXT I
287 GOTO 141
29Φ PRINT "ВЫЧИСЛЕНИЕ ЛИНЕЙНОГО ФОНА"
292 LET C=(A[3,N]-A[3,1])/(A[2,N]-A[2,1])
294 LET D=(A[3,1]*A[2,N]-A[3,N]*A[2,1])/(A[2,N]-A[2,1])
296 FOR I=1 TO N
297 LET A[3,I]=A[3,I]-C*A[2,I]-D
299 NEXT I
3ΦΦ GOSUB 115
3Φ1 GOTO 141
3Φ5 PRINT "ВВОД СПЕКТРА"
3Φ6 CALL (4Φ)
3Φ7 CALL (2Φ)
3Φ8 INPUT N
3Φ9 FOR I=1 TO N
31Φ INPUT A[2,I],A[3,I]
311 NEXT I
312 CALL (21)
313 CALL (31)
317 GOTO 113
321 DATA 49,2.ΦΦΦΦE-Φ2,.333,4.ΦΦΦΦE-Φ2,.856
322 DATA 6.ΦΦΦΦE-Φ2,1.973,8.ΦΦΦΦE-Φ2,4.86,.1,7.488
323 DATA .12,12.354,.14,18.251,.16,24.162,.18,28.715
324 DATA .2,3Φ.758,.22,29.987,.24,27.212,.26,24.155
325 DATA .28,22.792,.3,24.724,.32,3Φ.767,.34,4Φ.832
326 DATA .36,53.977,.38,68.549,.4,82.417,.42,93.333
327 DATA .44,99.396,.46,99.523,.48,93.733,.5,83.137
328 DATA .52,69.614,.54,55.315,.56,42.145,.58,31.42
329 DATA .6,23.735,.62,19.Φ49,.64,16.88,.66,16.529
33Φ DATA .68,17.258,.7,18.4Φ75,.72,19.4561,.74,2Φ.Φ4Φ4
331 DATA .76,19.955,.78,19.14,.8,17.657,.82,15.656
332 DATA .84,13.34,.86,1Φ.922,.88,8.85,.9,6.4931
333 DATA .92,4.715,.94,3.289,.96,2.2Φ5,.98,1.42
334 PRINT "НАЧАЛЬНЫЕ ПРИБЛИЖЕНИЯ"
335 FOR J=1 TO 22 STEP 3
337 PRINT A[1,19+J],A[1,2Φ+J],A[1,21+J]
339 NEXT J
34Φ PRINT " ОПТИМАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ"
342 FOR J=1 TO 22 STEP 3
344 PRINT A[1,J+59],A[1,J+6Φ],A[1,J+61]
345 NEXT J
35Φ GOTO 21
5ΦΦ LET S=Φ
51Φ LET N7=N-3
512 LET N1=2*INT(N7/2)
514 IF N7=N1 THEN 65Φ
52Φ FOR I=1 TO N7 STEP 2
53Φ LET D1=A[2,I]-2*(A[2,I+1]-A[2,I+2])
532 LET D2=A[2,I+1]-2*(A[2,I+2]-A[2,I])
535 LET D=A[2,I+2]-2*(A[2,I]-A[2,I+1])+D1+D2

```

```
537 LET A1=A[2,I*2]-A[2,I]
54φ LET A1=A[3,I]*(A[2,I+1]-A[2,I+2])+A[3,I+1]*A1
545 LET A=(A1+A[3,I+2]*(A[2,I]-A[2,I+1]))/D
55φ LET B1=A[3,I]*(A[2,I+2]-2-A[2,I+1]-2)
552 LET B2=A[3,I+1]*(A[2,I]-2-A[2,I+2]-2)
555 LET B=(B1+B2+A[3,I+2]*(A[2,I+1]-2-A[2,I]-2))/D
56φ LET C1=A[3,I+2]*A[2,I]*A[2,I+1]*(A[2,I]-A[2,I+1])
562 LET C2=A[3,I]*A[2,I+1]*A[2,I+2]*(A[2,I+1]-A[2,I+2])
564 LET C3=A[3,I+1]*A[2,I]*A[2,I+2]*(A[2,I+2]-A[2,I])
565 LET C=(C1+C2+C3)/D
57φ LET S2=C*(A[2,I+2]-A[2,I])+B*(A[2,I+2]-2-A[2,I]-2)/2
572 LET S=S+S2+A*(A[2,I+2]-3-A[2,I]-3)/3
575 NEXT I
577 PRINT S
58φ GOTO 21
65φ LET S=(A[2,N+2]-A[2,N+1])*(A[3,N+2]+A[3,N+1])/2
655 LET N7=N7-1
67φ GOTO 515
3φφφ PRINT "ОПТИМИЗАЦИЯ ПО МЕТОДУ МАРКВАРДА"
3φφ2 PRINT "ВВЕСТИ ЧИСЛО ПОЛОС, ДЛЯ КОТОРЫХ ЗАДАНЫ НАЧ.ПРИВ."
3φφ5 INPUT M
3φ1φ CALL (31)
3φ3φ LET E=1.φφφφφE-15
3φ6φ LET N8=2
3φ64 MAT R=ZER
3φ65 FOR K=1 TO 3*M
3φ66 LET A[1,K+1φφ]=φ
3φ67 NEXT K
31φ2 FOR K=1 TO 3*M
31φ5 LET A[4,K]=A[4,K+24]=A[1,K+19]
31φ7 NEXT K
311φ GOSUB 3756
3117 FOR K=1 TO M
312φ PRINT "НАЧ.ПАФ,"A[4,3*K-2],A[4,3*K-1],A[4,3*K]
3122 NEXT K
3123 PRINT "НАЧ.Ф";F
3125 DEF FNB(X)=5.5452*(X-X1)/X2-2
3128 DEF FNC(X)=5.5452*(X-X1)-2/X2-3
313φ DEF FNA(X)=(-2.7726*(X-X1)-2)/X2-2
3133 CALL (29,1,U1)
314φ LET M5=M1
3144 LET W1=W2=2φ
3145 GOSUB 3732
3148 GOSUB 4145
3152 GOSUB 432φ
3154 GOSUB 399φ
3155 GOSUB 3756
3156 LET V=F
316φ PRINT "W";W2;"F";F
3211 LET W2=W1/N8
322φ GOSUB 367φ
3248 FOR K=1 TO 3*M
325φ LET A[1,K+149]=A[1,K+1φφ]
3252 NEXT K
3254 LET V2=F
3258 LET W2=W2/N8
```

```
327φ GOSUB 367φ
3284 IF F<V2 THEN 325φ
3285 FOR K=1 TO 3*M
3286 LET A[4,K]=A[4,K+24]+A[1,K+149]
3287 NEXT K
3288 LET F=V2
329φ GOTO 3585
3292 LET W2=W2*N8
333φ GOSUB 367φ
3485 IF F>V THEN 3292
3535 LET W1=W2
358φ GOTO 3587
3585 LET W1=W2*N8
3587 FOR K=1 TO M
3588 PRINT A[4,3*K-2],A[4,3*K-1],A[4,3*K]
359φ NEXT K
3593 PRINT "К.П.Ц."; "W"; W1; "F="; F
3594 CALL (29,1,U2)
3595 LET V=F
3596 GOSUB 3732
3598 PRINT "ВРЕМЯ", U2-U1
3599 IF ABS(F)<E THEN 361φ
36φ2 FOR K=1 TO 3*M
36φ3 LET A[4,K+24]=A[4,K]
36φ4 NEXT K
36φ5 GOSUB 4145
36φ6 GOTO 3211
361φ PRINT "КОНЕЧНЫЙ РЕЗУЛЬТАТ"
3615 CALL (29,1,U2)
3616 PRINT U2-U1
362φ FOR K=1 TO M
364φ NEXT K
3645 FOR K=1 TO 3*M
365φ LET A[1,K+59]=A[4,K]
3655 NEXT K
366φ STOP
367φ GOSUB 432φ
3674 FOR K=1 TO 3*M
3678 LET A[4,K]=A[4,K+24]
368φ NEXT K
3682 GOSUB 399φ
3684 GOSUB 3756
3688 PRINT "W"; W2; "F"; F
369φ RETURN
373φ REM ВНСВЕЧИВАНИЕ КРИВЫХ
3732 FOR L=1 TO N
3748 GOSUB 386φ
375φ LET A[6,N+L+8]=1φφφ*(Z-M2)/(M5-M2)
3751 NEXT L
3752 LET N1=2*N+5
3753 GOSUB 186
3754 RETURN
3756 REM ВЫЧ СУММЫ КВ.
3757 LET F=φ
3758 FOR L=1 TO N
3759 GOSUB 386φ
```

```
376φ LET F=F+(Z2A[3,L])-2
378φ NEXT L
385φ RETURN
386φ REM ***
388φ LET Z=φ
389φ FOR K=1 TO M
3892 LET X1=A[4,3*K-1]
3893 LET X2=A[4,3*K]
39φφ LET T1=FNA(A[2,L])
391φ IF T1 <= -3φ THEN 393φ
392φ LET Z=A[4,3*K-2]*EXP(T1)+Z
393φ NEXT K
397φ RETURN
398φ REM РЕШЕНИЕ СИСТЕМЫ ПО СХ.ХАЛЕЦКОГО
399φ LET M1=3*M
3992 MAT B=R
3995 FOR J=2 TO M1+1
3998 LET R[1,J]=R[1,J]/R[1,1]
4φφφ NEXT J
4φφ3 LET A[1,175]=R[1,M1+1]
4φφ5 FOR K=2 TO M1
4φ1φ FOR I=K TO M1
4φ15 LET S=φ
4φ2φ FOR L=1 TO K-1
4φ25 LET S=S+R[I,L]*R[L,K]
4φ3φ NEXT L
4φ35 LET R[I,K]=R[I,K]-S
4φ4φ NEXT I
4φ45 FOR J=K+1 TO M1
4φ5φ LET S=φ
4φ55 FOR L=1 TO K-1
4φ6φ LET S=S+R[K,L]*R[L,J]
4φ65 NEXT L
4φ7φ LET R[K,J]=(R[K,J]-S)/R[K,K]
4φ71 NEXT J
4φ72 LET S1=φ
4φ73 FOR L=1 TO K-1
4φ74 LET S1=S1+R[K,L]*A[1,L+174]
4φ75 NEXT L
4φ78 LET A[1,K+174]=(R[K,M1+1]-S1)/R[K,K]
4φ8φ NEXT K
4φ85 LET A[1,M1+1φφ]=A[1,M1+174]
4φ9φ FOR K=M1-1 TO 1 STEP -1
4φ95 LET S=φ
41φφ FOR L=K+1 TO M1
41φ5 LET S=S+R[K,L]*A[1,L+1φφ]
411φ NEXT L
4113 LET A[1,K+1φφ]=A[1,K+174]-S
4115 NEXT K
4118 MAT R=B
412φ FOR K=1 TO 3*M
4125 LET A[4,K]=A[4,K]+A[1,K+1φφ]
413φ NEXT K
4135 RETURN
4145 MAT R=ZER
4147 FOR L=1 TO 3*M
```

```
4150 FOR I=1 TO N
4152 LET Z4=0
4155 FOR K=1 TO M
4160 GOSUB 4345
4165 LET C[3*K-2]=Z1
4170 LET C[3*K-1]=Z2
4175 LET C[3*K]=Z3
4177 LET Z4=A[4,3*K-2]*Z1+Z4
4180 NEXT K
4185 FOR J=L TO 3*M
4190 LET R[L,J]=R[L,J]+C[L]*C[J]
4195 NEXT J
4197 LET R[L,3*M+1]=R[L,3*M+1]+C[L]*(A[3,I]-Z4)
4200 NEXT I
4205 NEXT L
4281 LET A[1,125]=R[1,1]
4285 FOR I=2 TO 3*M
4288 LET A[1,I+124]=R[I,1]
4290 FOR K=1 TO (I-1)
4295 LET R[I,K]=R[K,I]
4300 NEXT K
4305 NEXT I
4310 RETURN
4320 FOR K=1 TO 3*M
4325 LET R[K,K]=A[1,K+124]+W2
4330 NEXT K
4335 RETURN
4345 LET Z1=Z2=Z3=0
4350 LET X1=A[4,3*K-1]
4352 LET X2=A[4,3*K]
4355 LET Z=FNA(A[2,I])
4360 IF Z<-3 THEN 4385
4365 LET Z1=EXP(Z)
4375 LET Z2=A[4,3*K-2]*Z1*FNB(A[2,I])
4380 LET Z3=A[4,3*K-2]*Z1*FNC(A[2,I])
4385 RETURN
9999 END
```

Статья поступила 6 февраля 1978 года.

П.Н.Адавич, Я.Я.Индулевич, В.Д.Штраус
Институт механики полимеров АН Латвийской ССР

СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РЕЛАКСАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Описывается система автоматизации эксперимента для определения частотных зависимостей комплексной диэлектрической проницаемости, функций распределения времен диэлектрической релаксации и т.п. в диапазоне инфранизких частот. Система предусмотрена для снятия и анализа на мини-ЭВМ временных зависимостей поляризационного тока полимерных и других неметаллических материалов. Приводится функциональная схема системы и рассматривается программное обеспечение эксперимента.

В в е д е н и е

Особенности строения полимерных материалов определяют релаксационную природу большинства их физических характеристик [1]. В связи с этим при контроле полимеров, в частности при диагностике прочности и жесткости, интерес представляет исследование электрических релаксационных характеристик (частотных зависимостей составляющих комплексной диэлектрической проницаемости, функции распределения времен релаксации и др.) полимеров в широких частотных (временных) диапазонах. Особый интерес вызывают низкие и инфранизкие частоты, т.е. диапазон частот, в котором наиболее ярко проявляется зависимость электрических свойств полимерных диэлектриков.

Оказывается [2], что при исследовании диэлектриков частоты ниже 20 Гц являются весьма труднодоступным диапазоном, для измерений в котором аппаратура в настоящее время отечественной промышленностью не выпускается. При опреде-

лении электрических свойств в диапазоне низких и инфранизких частот. Преимущества имеют так называемые временные спектрометрические методы [2,3], которые основаны на вычислении интересующих исследователя характеристик по реакции диэлектрика (во временной области) на определенный вид электрического возмущения. Основные достоинства временных спектрометрических методов заключаются в возможности получения информации о релаксационных явлениях в широких частотных (временных) диапазонах при относительно несложном аппаратном исполнении и высоком быстродействии. Характерной особенностью спектрометрических методов является большой объем вычислений для определения интересующих электрических характеристик, следовательно, автоматизация спектрометрических экспериментов становится необходимостью.

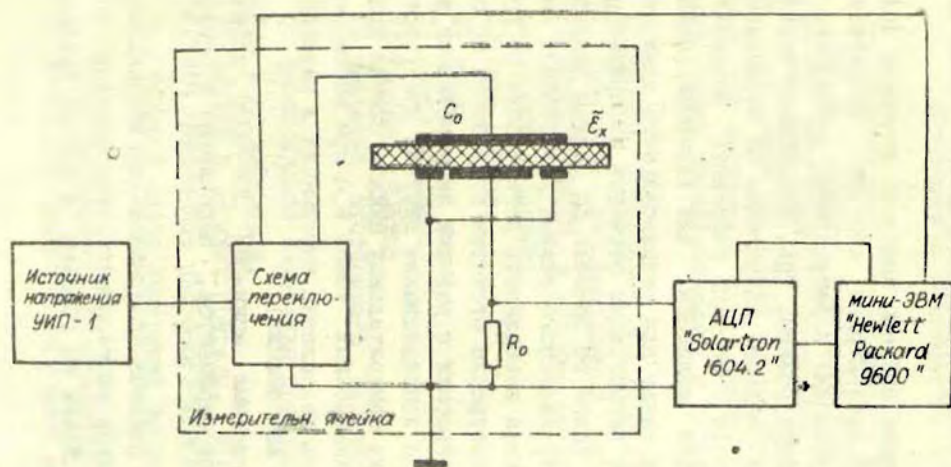
Одним из наиболее широко распространенных методов низкочастотной временной спектрометрии является метод поляризационного тока [4], в котором электрические релаксационные характеристики определяются по временным зависимостям поляризационного тока*, наблюдаемого после подачи (снятия) на образец диэлектрика постоянного напряжения в виде скачка. Возможности автоматизации данного метода обсуждены в работе [5].

Ниже рассматривается созданная в Институте механики полимеров Академии наук Латвийской ССР система автоматизации определения методом поляризационного тока диэлектрических релаксационных характеристик полимерных материалов.

Функциональная схема системы

Система (рис.1) состоит из трехэлектродного измерительного конденсатора C_0 , содержащего испытуемый образец диэлектрика с комплексной диэлектрической проницаемостью ϵ_x , эталонного сопротивления R_0 , которое включено после-

* Иногда вместо термина "поляризационный ток" употребляется термин "абсорбционный ток".



Р и с. 1. Функциональная схема системы.

довательно с измерительным конденсатором, источника постоянного напряжения УИП-1, аналого-цифрового преобразователя (АЦП), в качестве которого использован цифровой вольтметр "SOLARTRON I604.2", а также из схемы управления воздействием на образец и мини-ЭВМ НР-9600 на основе процессора НР-2100 с оперативной памятью 64К байт. . Используется операционная система реального времени "RTE-1" со следующими внешними устройствами: телетайпом 2752А, графопостроителем 7210А, алфавитно-цифровой печатью 2607А, накопителем на магнитных дисках 7900А, а также устройством ввода-вывода с перфоленты.

Измерительный цикл системы контроля процесса поляризация-деполяризация в диэлектрике состоит из регистрации зарядного тока (поляризация) и регистрации разрядного тока (деполяризация). В обоих режимах ток, проходящий через диэлектрик и создающий падение напряжения на эталонном сопротивлении, измеряется с помощью цифрового вольтметра и накапливается в памяти мини-ЭВМ. Для экономии машинного времени и памяти, а также для универсального применения системы предусмотрена регистрация отсчетов поляризационных и деполяризационных токов во времени по разным законам, в зависимости от заранее заданного режима регистрации информации. Например, имеется возможность регистрации по порядку всех отсчетов, регистрации отсчетов во времени по закону геометрической прогрессии с разными знаменателями и др.

Для оперативного использования системы предусмотрено проведение нескольких измерительных циклов снятия поляризационных и деполяризационных токов в одном эксперименте (с накоплением или без накопления информации в зависимости от режима накопления информации).

Применяемая в системе мини-ЭВМ НР-9600 исполняет функции управления экспериментом, накопления и обработки информации, а именно

- 1) организацию режимов поляризация-деполяризация;
- 2) синхронный пуск эксперимента (синхронизация системы управления воздействием на образец с тактом преобразования вольтметра);

- 3) регистрацию информации согласно заранее заданному режиму;
- 4) переключение диапазонов цифрового вольтметра по команде, поданной с ЭВМ;
- 5) выполнение указанного числа циклов эксперимента;
- 6) переход с одного АЦП на другой (в случае использования нескольких АЦП).

Программное обеспечение эксперимента

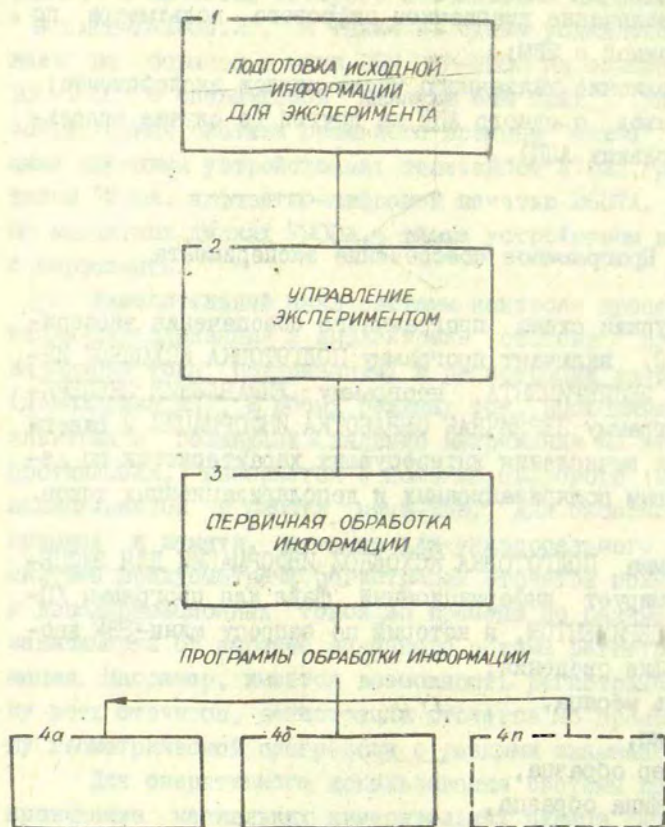
Структурная схема программного обеспечения эксперимента (рис.2) включает программу ПОДГОТОВКА ИСХОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТА, программу УПРАВЛЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТОМ, программу ПЕРВИЧНАЯ ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ и пакеты программ для вычисления интересующих характеристик по измеренным кривым поляризационных и деполяризационных токов.

Программа ПОДГОТОВКА ИСХОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТА формирует информационный файл для программы УПРАВЛЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТОМ, в который по запросу мини-ЭВМ вводятся следующие сведения:

- 1) день месяца,
- 2) месяц,
- 3) номер образца,
- 4) толщина образца,
- 5) значение постоянного напряжения, подаваемого на образец,
- 6) число циклов измерения процесса поляризация-деполяризация в эксперименте,
- 7) нижний и верхний пределы, при которых происходит переключение диапазонов цифрового вольтметра.

Для каждого цикла измерений по запросу мини-ЭВМ вводятся:

- 1) продолжительность поляризации-деполяризации,
- 2) начальный диапазон цифрового вольтметра,



Р и с. 2. Структурная схема программного обеспечения эксперимента.

- 3) положение реле схемы переключения,
- 4) режим накопления информации в цикле измерения,
- 5) режим регистрации информации.

Так как для эксперимента особую важность представляет достоверная исходная информация, предусмотрена проверка:

- 1) имени файла для экспериментальных данных,
- 2) начального номера диапазона цифрового вольтметра,
- 3) согласованности нижнего и верхнего пределов измерения,
- 4) вместимости экспериментальных данных в файл.

Начальный диапазон выбирается с учетом скорости процесса поляризации-деполяризации в конкретном материале. С целью максимального использования быстродействия измерителя начало процесса измерений процесса поляризация-деполяризация синхронизовано с преобразованием информации.

Следующей является программа УПРАВЛЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТОМ. В начале эксперимента происходит проверка достоверности исходной информации и присвоение начального значения величине текущего времени $T1 = -DT$, где DT - время срабатывания измерителя в секундах (рис.3). С целью исключения избыточности информации в ходе эксперимента введено определение моментов накопления информации $T2$, задаваемых специальной подпрограммой $\Phi(T1)$, учитывающей характер исследуемого процесса. В конкретных экспериментах время их наступления меняется от времени максимального быстродействия измерителя до нескольких минут. Каждое показание проверяется на необходимость введения коррекции номера диапазона в случае выхода его за пределы уставок.

При достижении $T1 = T_{\text{кон}}$, где $T_{\text{кон}}$ - продолжительность эксперимента, предусмотрен переход (по желанию экспериментатора) на обработку собранной информации.

Программа ПЕРВИЧНАЯ ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ выполняет задачу проверки достоверности собранной информации, подготовки ее в виде, удобном для дальнейшей обработки, а также

для хранения. В нее входят процедуры обнаружения и исключения результатов, содержащих грубые ошибки, а также процедуры сглаживания и упаковки измеренной информации.

Дальнейшая обработка измеренных зависимостей поляризационных и деполаризационных токов зависит от конкретной цели исследования данного полимера. Созданный пакет программ обработки кривых поляризационных токов включает в себя программы вычисления частотных зависимостей составляющих комплексной диэлектрической проницаемости по алгоритму [6], программы вычисления функций распределения времен диэлектрической релаксации [7] и других физических характеристик, коррелирующих с электрическими параметрами, в частности таких, как содержание влаги, степень полимеризации и др. Во всех программах обработки собранной информации для представления исходных и вычисленных зависимостей широко используется вывод их в виде графиков, что существенно повышает наглядность и эффективность обработки и интерпретации результатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Релаксационные явления в полимерах. Под редакцией Г.М.Бартенова и Ю.З.Зеленова. Л., 1972. 376 с.

2. Дзюбенко И.В. Методы измерения электрических параметров диэлектриков на инфранизких частотах. - Измерительная техника, 1970, № 10, с.44-47.

3. Sugget A. Time Domain Method. - In: Dielectric and Related Molecular Process. Vol.1. London, 1972, p.100-120.

4. Штраус В.Д. Определение комплексной диэлектрической проницаемости полимерных материалов по поляризационному току. - Механика полимеров, 1976, № 3, с.507-511.

5. Штраус В.Д. Возможности автоматизации определения частотного спектра диэлектрика методом анализа абсорбционного тока. - В кн.: Методы и приборы автоматического контроля. Вып.13. Рига, 1975, с.77-87.

6. Штраус В.Д. Алгоритм вычисления частотной зависимости составляющих комплексной диэлектрической проницаемости и комплексной податливости. - Механика полимеров, 1977, № 3, с.524-530.

7. Штраус В.Д. Определение функции распределения времен диэлектрической релаксации полимерных материалов. - Механика полимеров, 1976, № 2, с.348-353.

Статья поступила 1 февраля 1978 года.

Б.В.Вылегжанин, И.Р.Рябаков, Е.М.Шаров
Государственный оптический институт им.С.И.Вавилова

ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ ФУРЬЕ-СПЕКТРОМЕТРА МФС

Рассмотрен вариант автоматизации процессов обработки фурье-спектров, получаемых с помощью малогабаритного фурье-спектрометра МФС. Вариант реализован с использованием ЭВМ М-6000 и БЭСМ-4: М-6000 преобразует исходную информацию в форму, пригодную для последующей обработки на БЭСМ-4.

В в е д е н и е

Фурье-спектрометр является одним из самых информативных среди спектральных приборов. В фурье-спектрометрах аппаратно регистрируется функция автокорреляции интенсивности излучения (интерферограмма), связанная с энергетическим спектром посредством интеграла Фурье. Для получения спектральной информации с минимумом затрат были в свое время предложены экономичные алгоритмы [1,2] и реализующие их специализированные процессоры [3,4]. Но с появлением и развитием алгоритмов быстрого преобразования Фурье (БПФ) [5,6] интерферограммы фурье-спектрометров преобразуются в спектры преимущественно на ЭВМ общего назначения.

Современные фурье-спектрометры имеют в своем составе малые ЭВМ или регистрирующие устройства, обеспечивающие регистрацию информации на промежуточном носителе для последующего ее ввода в ЭВМ.

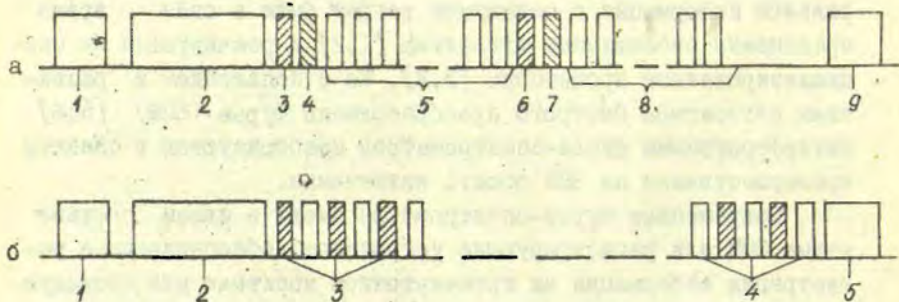
В настоящей работе описано разработанное программное обеспечение ЭВМ БЭСМ-4 для отечественного малогабаритного фурье-спектрометра (МФС), укомплектованного регистратором на магнитной ленте (ИС-1211). Обработка измерительной информации организована в три этапа. Первый - ввод информации в ЭВМ, ее компактное расположение на внешнем накопителе ЭВМ, входной контроль качества информации. Второй - преобразова-

ние исходных кодов в нормализованные числа, обработка массивов информации по соответствующим программам, запись вычисленных спектров на магнитной ленте. Третий - получение спектроскопической информации.

Рассмотрим два первых этапа, которые отражают специфику МЭС и ЭВМ "БЭСМ-4", но не зависят от характера исследуемого излучения.

Структура обрабатываемой информации

Вся информация на магнитной ленте регистратора записывается сеансами, состоящими из циклов, каждый из которых включает все необходимые для обработки данные. Цикл состоит из зон, разделенных временными интервалами. Первая зона - зарегистрированная интерферограмма излучения имитатора черного тела, вторая - цифровые эквиваленты температур элементов оптической схемы (дурье-спектрометра, остальные зоны - интерферограммы исследуемого излучения. Каждая зона сопровождается сигналами "Начало зоны" и "Конец зоны", служащими



Р и с. I. Структура зон температур (а) и интерферограмм (б).

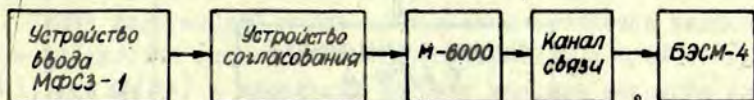
а. 1 - начало зоны; 2 - паспортная часть; 3 - признак номера термодатчика; 4 - номер термодатчика; 5 - цифровые эквиваленты температур; 6 - признак номера термодатчика; 7 - номер термодатчика; 8 - цифровые эквиваленты температур; 9 - конец зоны.

б. 1 - начало зоны; 2 - паспортная часть; 3 - коды коэффициентов усиления и знака отсчета; 4 - коды отсчетов; 5 - конец зоны.

управляющими сигналами для работы программы ввода. Структура зоны зависит от вида информации. Началс каждой зоны содержит паспортную часть с информацией о номере цикла в сеансе и о номере зоны в цикле, о номера работающего канала и типе информации (рис.1). Зоны с информацией о температурах содержат коды номеров термодатчиков и соответствующие цифровые эквиваленты температур (рис.1,а). Изображение зон с информацией об интерферограммах показано на рис.1,б.

Ввод обрабатываемой информации в ЭВМ

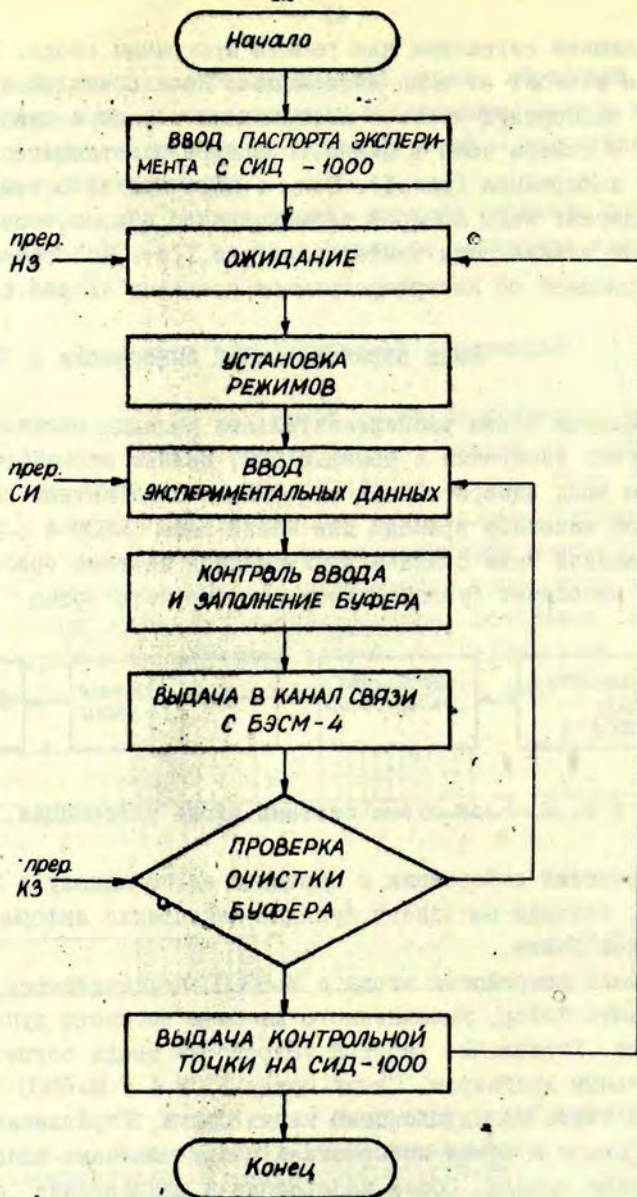
Большой объем экспериментальных данных, получаемых в результате измерений с помощью МФС, делает практически очень трудным ввод измерительной информации с магнитных лент в реальном масштабе времени для машин типа БЭСМ-4. Для решения задачи была создана двухмашинная система (рис.2). ЭВМ М-6000 выполняет функции приема с устройств ввода, первич-



Р и с. 2. Блок-схема системы ввода информации.

ной обработки информации и передачи ее по каналу в ЭВМ БЭСМ-4, которая выполняет функцию накопления информации на магнитной ленте.

Связь устройства ввода с М-6000 обеспечивается с помощью интерфейса, выполненного на базе типового дуплексного регистра. Управление работой устройства ввода осуществляется специальным драйвером. Связь между БЭСМ-4 и М-6000 осуществляется через полудуплексный канал связи. Управление работой канала связи и обмен информацией между машинами выполняется драйверами канала. Объем информации и направление передачи оперативно контролируется с помощью дисплея СИД-1000. Информация зоны, принятая М-6000, после экспресс-обработки передается на БЭСМ-4 и записывается на магнитную ленту. Для контроля данных паспорт зоны и часть данных выводятся на СИД-1000 и печатаются. Блок-схема программы изображена на рис.3.



Р и с. 3. Блок-схема программы ввода и первичной обработки информации (I-й этап).

НЗ - начало зоны; СИ - синхриимпульсы; КЗ - конец зоны.

Алгоритм обработки данных

В результате выполнения первого этапа вся информация МФС переписывается с устройства ввода МФС-3 на НМЛ БЭСМ-4, в каждое машинное слово при помощи М-6000 упаковывается несколько кодов информации. На этом этапе вид исходной информации не модифицируется.

Второй этап обработки (получение спектральной информации) реализуется общей программой, содержащей целый ряд процедур и подпрограмм, включение или выключение которых в процесс обработки определяет модификацию результирующей спектральной информации.

Общая программа обработки экспериментальной информации составлена на языке АЛГОЛ-60 (транслятор ТА IM). Она организует обработку информации в двух кубах МОЗУ БЭСМ-4 и находится в нулевом кубе МОЗУ, а подпрограмма быстрого преобразования Фурье (БПФ), написанная в кодах БЭСМ-4, находится в первом кубе в течение всей обработки.

Обмен информацией между кубами осуществляется включенной в библиотеку специальной подпрограммой P0506 ($a[n1], n, P, A$), где $a[n1]$ - начальный элемент массива разрядов длиной в n , P - логическая переменная, определяющая направление обмена, A - адрес (десятичный) элемента $a[n1]$ в первом кубе.

Процедура РАСПАКОВКА модифицируется применительно к зонам, содержащим информацию об интерферограммах первого и второго каналов (первого и второго спектральных поддиапазонов МФС) и цифровых эквивалентов температур.

В программе используются также специально разработанные библиотечные подпрограммы P0507 ($n, a, n1, b, n2$) и P0512 ($a, n, n1, b$), позволяющие работать АЛГОЛ-программе с разрядами ячейки. В результате работы подпрограммы P0507 (...) из ячейки с идентификатором "a", начиная с разряда "n1", выделяются "n" двоичных разрядов и помещаются в ячейку с идентификатором "b", начиная с разряда "n2". Подпрограмма P0512 (...) осуществляет выделение "n" двоичных разрядов из ячейки с идентификатором "a", начиная с разряда "n1", перевод их в нормализованное целое число и помещение ре-

зультата в ячейку с идентификатором "δ". Этим подпрограмм вполне достаточно, чтобы осуществить распаковку и редактирование упакованной экспериментальной информации.

Существенными частями АЛГОЛ-программы являются процедуры ТЕМПЕРАТУРА, МАССИВ, АПОЛИЗАЦИЯ, МОДУЛЬ и ФАЗА. Наиболее важной частью АЛГОЛ-программы является подпрограмма БПФ.

Подпрограмма БПФ позволяет обрабатывать комплекснозначные функции, содержащие 2^{10} (1024) комплексных значений, что требует 2^{11} (2048) ячеек памяти. Так как интерферограмма является вещественной функцией, то для ее размещения в кубе МОЗУ БЭСМ-4 можно выделить не более 1024 ячеек памяти, в 1024 ячейки для мнимой части заносится нули. Результатом БПФ являются косинусная (C_n) и синусная (S_n) трансформанты вещественной функции - интерферограммы (J_k). При этом спектр (B_n) является комплекснозначной функцией:

$$B_n = C_n + iS_n,$$

где

$$C_n = \sum_{k=0}^{N-1} J_k \cdot \cos(2\pi kn/N),$$

$$S_n = \sum_{k=0}^{N-1} J_k \cdot \sin(2\pi kn/N).$$

Процедура МАССИВ формирует массив интерферограммы перед обращением к подпрограмме БПФ. Массив формируется таким образом, чтобы первой точкой (отсчетом) массива была точка, расположенная в области "стационарной" фазы [2]. Это позволяет проще интерпретировать фазовый спектр, так как при БПФ за начало отсчета принимается первая точка в массиве. При регистрации интерферограмм МФС не производится строгой фиксации числа отсчетов. Поэтому избыточный исходный массив интерферограммы второго канала делится на два подмассива по методике [7], а подмассивы дополняются нулевыми отсчетами до числа отсчетов $N = 2^{10}$, что равносильно интерполяции [8].

Процедура АПОЛИЗАЦИЯ осуществляет "взвешивание" интерферограммы путем умножения ее значений на соответствующие значения весовой функции, в качестве которой нами использовалась функция (окно Хемминга), определяемая, как

$$A(x) = \begin{cases} 0,54 + 0,46 \cos(\pi x / L) & \text{при } |x| \leq L \\ 0 & \text{при } |x| > L. \end{cases}$$

Почти вся энергия этой функции (99,96%) сосредоточена в полосе частот главного пика ее фурье-образа, а максимальная пиковая амплитуда боковых его лепестков составляет менее 1% от главного пика. Могут быть применены и другие весовые функции в зависимости от конкретных спектроскопических задач.

Процедура МОДУЛЬ определяет амплитудный спектр $B_n^* = (C_n^2 + S_n^2)^{1/2}$. При необходимости производится фазовая коррекция [2] с помощью процедуры ФАЗА, по которой сначала определяется фазовый спектр $\varphi_n = \arctg(S_n/C_n)$, по короткому участку интерферограммы φ_n' и по всей интерферограмме φ_n'' . После этого определяется скорректированный амплитудный спектр $B_n^*(\text{корр.}) = B_n^* \cos(\varphi_n' - \varphi_n'')$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шаров Е.М., Киселев Б.А., Дубков В.И. О возможном упрощении обработки интерферограмм в фурье-спектрометрии. - Ж. прикл. спектроскопии, 1970, т.13, вып.3, с.536-537.
2. Мерц Л. Интегральные преобразования в оптике. М., 1969, с.47.
3. Шаров Е.М., Вылегжанин Б.В. Авторское свидетельство № 389525. - Открытия, изобретения, промышленные образцы, товарные знаки, 1973, № 29.
4. Coonnes P., Michel G. Патент Франции № 2.062.565. (Listes 1971, No.49).
5. Cooley J.W., Tukey J.W. An Algorithm for Machine Calculation of Complex Fourier Series. - Mathematics of Computation, april 1965, vol.19, No.90, p.297-301.
6. Forman M.L. Fast Fourier Transform Technique and its Application to Fourier Spectroscopy. - J.Opt.Soc.America, 1966, vol.56, No.7, p.978-979.
7. Шаров Е.М., Киселев Б.А. Использование быстрого преобразования Фурье в спектроскопии высокого разрешения. - Ж. прикл. спектроскопии, 1972, т.16, вып.6, с.1095-1097.
8. Шаров Е.М., Мамонтов В.А. Интерполяция с использованием быстрого преобразования Фурье в фурье-спектроскопии. - Ж. прикл. спектроскопии, 1976, т.24, вып.6, с.1059-1063.

Статья поступила 4 октября 1977 года.

Л.М.Кузьмина, Ю.Я.Кузьмин
НИИ ФТТ ЛГУ им.Петра Стучки

РАСШИРЕНИЕ BASIC M-6000

Рассматривается расширение BASIC M-6000, представляющее набор двадцати пяти CALL-программ и дополнений к BASIC-транслятору. Расширенный вариант BASIC M-6000 особенно эффективен на этапе постановки и разработки систем управления измерительной аппаратурой и диалоговых систем обработки графической информации, когда наиболее важным фактором является оперативность программирования и модифицирование программ.

В программировании задач управления физическим экспериментом и задач диалоговой обработки физических результатов на ЭВМ можно различить два этапа:

- 1) этап постановки задачи и опробования вариантов решения;
- 2) этап систематического применения разработанных программ.

На первом этапе важно иметь возможность быстрого написания, отладки и модификации программ, в то время как на втором этапе существенно достижение высокого быстродействия программ.

Мини-ЭВМ типа M-6000 имеют легкую в использовании интерпретирующую систему BASIC. Однако эта система ориентирована на вычислительные задачи, в ней нет средств, позволяющих работать с процессами в реальном масштабе времени.

Зарубежная практика показывает возможность создания вариантов BASIC, пригодных и для второго вида задач (см., напр., [1]). Для этого транслятор дополняется специальным набором операторов, ориентированных на измерительные приборы, подключаемые к мини-ЭВМ. Недостатком этого варианта является его ориентированность на заранее выбранный набор приборов. В работе [2] описан вариант BASIC для программи-

рования приборов, выполненных в стандарте КАМАК. Такой подход более универсален, поскольку он ориентирован не на набор приборов, а на набор операций обмена информацией с приборами. Однако здесь требуется выполнение всех приборов в стандарте КАМАК.

В настоящей работе развито расширение BASIC M-6000 [3], позволяющее решать следующие задачи.

1. Ввод и вывод данных с перфоленты во время счета BASIC-программ.

2. Просмотр информации на графическом дисплее СИГД и регенерация изображения параллельно с работой BASIC.

3. Ввод и вывод данных при обмене с модулями УСО M-6000, например, МУВ, МУУ, МВВДИ, МКУВ, ПКТ и т.п. либо с любыми другими устройствами, имеющими сопряжение 2К.

4. Организация счетчика времени, работающего параллельно с BASIC-транслятором.

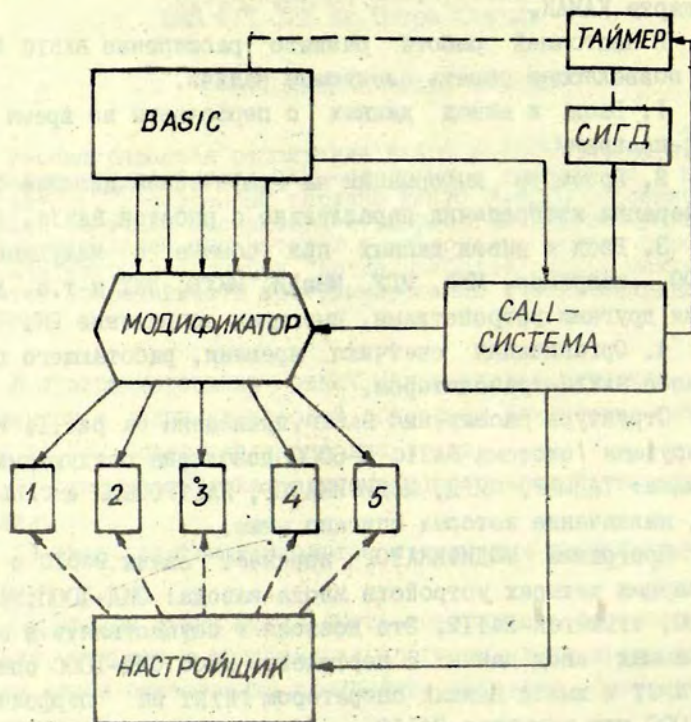
Структура расширения BASIC приведена на рис.1. Интерпретирующая система BASIC M-6000 дополнена следующими программами: ТАЙМЕР, СИГД, МОДИФИКАТОР, НАСТРОЙЩИК и CALL-СИСТЕМА, назначение которых описано ниже.

Программа МОДИФИКАТОР изменяет связи BASIC с пятью драйверами четырех устройств ввода-вывода: СИД-1000, FS-1500, ПЛ-150, ВИДЕОТОН-24II2. Это позволяет осуществлять в BASIC-программах ввод данных с перфоленты либо СИД-1000 оператором INPUT и вывод данных оператором PRINT на перфоленту, СИД-1000 или ВИДЕОТОН-24II2.

Программа НАСТРОЙЩИК позволяет изменять номера каналов устройств ввода-вывода непосредственно при работе BASIC-программ, что дает возможность использовать, например, один и тот же драйвер вывода данных на ПЛ-150 для вывода на несколько перфолотаторов, включенных в разные каналы M-6000.

Программа ТАЙМЕР позволяет организовать счетчик времени в миллисекундах и секундах, который заполняется от устройства AI29-I путем использования системы прерывания непосредственно во время работы BASIC-программ. Этот счетчик можно применять при организации процессов, изменяющихся во времени.

Программа СИГД позволяет регенерировать с частотой около 30 Гц графическую и символьную информацию на экране дисплея СИГД параллельно с работой BASIC-транслятора.



Р и с. I. Структура расширения BASIC M-6000.
I-5 - драйверы устройств ввода-вывода информации

CALL-СИСТЕМА — это набор CALL-программ, управляющих как уже названными программами, так и другими программами, расширяющими возможности BASIC.

Описание CALL-программ

1. CALL (1, X[K1], Y[K2], N) — программа подготовки и выдачи геометрических объектов, составленных из точек или векторов.

Структура буфера СИГД показана на рис.2. Каждый объект имеет начало **A1** и конец **A2**. Объект в общем случае может быть геометрическим либо символьным (см. CALL (4, ...)). Разные объекты разделяются управляющими словами, конец последнего объекта помечается специальным признаком конца.

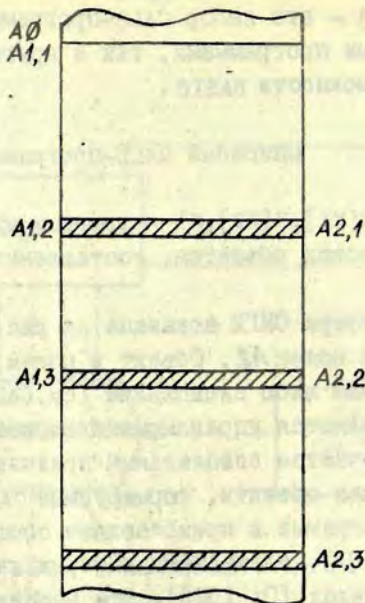
Геометрические объекты, формируемые CALL(1, ...), готовятся в BASIC-программе и представляют собой пары массивов (напр., X[] и Y[]), элементами которых являются числа, изменяющиеся в пределах (0; 1023). Эти массивы должны содержать не менее одного объекта, при этом разделителями объектов должны быть отрицательные числа, находящиеся в начале каждого объекта пар массивов X[], Y[], что соответствует следующим режимам высвечивания объектов на дисплее СИГД:

X[]=-1	- точки,
X[]=-2	- мерцающие точки,
X[]=-3	- вектора,
X[]=-4	- мерцающие вектора,
X[]=-5	- прерывистые вектора;
X[]=-6	- мерцающие прерывистые вектора.

Если при формировании буфера СИГД объект не содержит отрицательного числа в начале или в буфер заносится часть объекта, начиная с k-элемента массива X[k], то такой объект будет высвечиваться в режиме векторов (соответствует X[]=-3).

При формировании объектов с помощью CALL(1, X[K1], Y[K2], N) параметр N равен общей длине передаваемых в буфер СИГД объектов, начиная с элементов X[K1] и Y[K2], за исключением всех управляющих слов, т.е.: всех X[] < 0.

2. CALL(5, R) — программа разрешения (R=0) или запрета (R=1) регенерации объектов на СИГД.



Р и с. 2. Структура буфера регенерации СИГД.

A_0 - начало буфера, $A_{1,i}$ - начало i -объекта, $A_{2,i}$ - конец i -объекта, $i = 1, 2, 3$.

3. $CALL(3, R, P, A)$ - программа объединения объектов, выводимых на СИГД. Здесь A - идентификатор ячейки, в которую заносится адрес начала объекта; $P=0$, если объект последний в массиве СИГД, $P=1$ - в противном случае. При $R=0$ в адрес начала A_1 выводимого объекта (см. рис. 2) заносится начало A_0 буфера СИГД. При $R=1$ в адрес начала A_1 выводимого объекта, в ячейку A заносится адрес A_2 конца предыдущего объекта. При $R=2$ - в адрес начала A_1 выводимого объекта заносится значение A . При $R=3$ - в A заносится адрес конца A_2 предыдущего объекта.

4. $CALL(4, X, Y, R, N)$ - программа занесения N пар символов символьного объекта, взятого из буфера СИГД-1000, в буфер СИГД. Программа позволяет выводить символьную информацию, сформированную оператором $PRINT$, на экран СИГД, начиная с места с координатами (X, Y) , в следующих режимах:

R=0 - слабое свечение объекта, R=1 - слабое свечение с мерцанием, R=2 - сильное свечение, R=3 - сильное свечение с мерцанием. Это дает возможность производить разметку осей графиков, выдавать численные значения различных точек графиков и т.п. Рекомендуемая последовательность операторов:

```
10 CALL(3,0,0,B)
20 PRINT X;TAB(10)
30 CALL(4,X,Y,I,8)
```

Здесь: 10-строка - в адрес начала символьного объекта заносится адрес начала буфера СИГД и после объекта ставится признак конца буфера СИГД; 20-строка - в буфер СИГД-1000 выдается значение X; (TAB(10)) нужен для подавления последующих символов буфера пробелами, поскольку заранее обычно не известно точное число символов значения X; 30-строка - добавление символьного объекта в буфер СИГД, в режиме сильного свечения будет выдано на экран СИГД на место с координатами (X,Y) 8 пар символов значения X.

5. CALL(2,A) - программа опроса клавиатуры СИГД. Используется при организации простых диалоговых систем, в которых выполнение подпрограмм, выход из циклов и т.п. вызывается путем нажатия соответствующих клавиш СИГД. Отличие от оператора INPUT A состоит в том, что обработка CALL(2,A) происходит в течение миллисекунды, а время выполнения INPUT зависит от реакции человека и обычно составляет секунды; при этом ЭВМ все время находится в режиме выполнения драйвера ввода информации и не может производить никаких операций, кроме опроса СИГД-1000. Каждому нажатию клавиши СИГД при опросе через CALL(2,A) соответствует только одно число $-1 < A < +1$, в котором достаточно трех цифр для различения кодов от разных клавиш СИГД. В табл. I приведены эти три цифры, вычисленные как $INT(ABS(1000*A))$ для каждого кода. Содержимое A=0 после обработки CALL(2,A), если клавиша СИГД не была нажата.

Рекомендуемая последовательность инструкций для

```
CALL(2,A):
10 CALL(2,A)
20 IF A=0 THEN 10
30 LET A=INT(ABS(1000*A))
```

Коды клавиши СИГД, принятые CALL(2,А) и вычисленные как INT(ABS(1000*А)).

		7	492	[710
А 507	А 757	ш	500]	726
В 515	В 765	!	257	↑	734
С 523	В 929	"	265	↓	718
Д 531	Г 804	#	273	/	304
Е 539	Д 781	¤	281		
Г 546	Е 789	%	289	↑	937
Г 554	Ж 921	&	296	↓	945
Н 562	З 953	(312	→	953
И 570	И 820)	320	←	929
Ж 578	Й 828	*	328	↘	921
К 585	К 835	+	335	↙	914
Л 593	Л 843	,	343	↘	906
М 601	М 851	-	351	↙	898
Н 609	Н 859	.	359	ЭВМ	773
О 617	О 867	/	367	ЭПР	765
Р 625	П 875	0	375	ПР	757
Q 632	Р 890	1	382	КПР	750
Р 640	С 898	2	390	ГАШ	742
С 648	Т 906	3	398	#	734
Т 656	У 914	4	406	СД	726
U 664	Ф 796	5	414	П←	804
V 671	Х 812	6	421	П←	796
W 679	Ц 773	7	429	→	703
X 687	Ч 984	8	437	○	789
Y 695	Ш 960	9	445	ЭП	820
Z 703	Щ 976	:	453	СВ	828
	Ъ 937	;	460	АЗ	710
	Н 945	<	468	КР	695
	Э 968	=	476	СФ	718
	Ю 750	>	484		
	Я 882				

```
40 IF A=507 THEN 100
50 IF A=515 THEN 200
60 PRINT "НЕПОНЯТНО"
70 GO TO 10
100 FOR I=1 TO 1000
110 GO SUB <АДР.1>
120 CALL(2,A)
130 IF A#0 THEN 10
140 NEXT I
150 GO TO 10
```

Приведены два примера использования CALL(2,A). В первом случае CALL(2,A) использован (строки 10-70), чтобы по нажатой клавише СИД (коды А и В) уйти на одну из программ (адреса 100 и 200), во втором случае (строки 120,130) CALL(2,A) использован для выхода из цикла.

6. CALL(20) - настройка BASIC на ввод оператором INPUT с FS-150I.

7. CALL(21) - настройка BASIC на ввод оператором INPUT с СИД-1000.

8. CALL(30) - настройка BASIC на вывод перфоленги оператором PRINT.

9. CALL(31) - настройка BASIC на вывод оператором PRINT на СИД-1000.

10. CALL(32) - настройка BASIC на вывод оператором PRINT на VIDEOTON-24II2.

11. CALL(40) - отключение BASIC от драйвера вывода данных.

12. CALL(41) - отключение BASIC от драйвера ввода данных.

Рекомендуемые последовательности инструкций:

10 CALL(20)	- настройка на ввод с FS-150I
20 CALL(40)	- запрет вывода символа "?"
30 INPUT X,Y	- ввод X,Y с FS-150I
40 CALL(21)	- восстановление ввода с СИД-1000
50 CALL(30)	- настройка на вывод ПЛ-150
60 PRINT X,Y	- вывод X,Y на ПЛ-150
70 CALL(31)	- восстановление вывода на СИД-1000
80 CALL(32)	- настройка на вывод VIDEOTON-24II2

90 PRINT X,Y - вывод X,Y на VIDEOTON-24112
100 CALL(31) - восстановление вывода на СИД-1000

13. CALL(99,R) - программа запуска таймера и управления регенерацией изображения на СИД. При R=0 регенерация разрешена, при R=1 - запрещена. Используется для организации счетчиков времени.

14. CALL(29,R,T) - программа опроса таймера. При R=1 в T заносится время в секундах, прошедшее с момента последнего запуска таймера, при R=0 - остаток в миллисекундах. Таким образом, T(с) + T(мс) - полное время с момента запуска таймера.

15. CALL(26,K,C,V) - программа занесения содержимого K -канала M-6000 в ячейку с идентификатором V. При C=0 сигнал "Выполнить" отсутствует, при C=1 сигнал подается. Информация при опросе заносится в первое (из двух) машинное слово, соответствующее V.

16. CALL(25,K,L,V) - программа занесения в V содержимого L -канала MTV, подключенного к K -каналу M-6000.

17. CALL(36,K,C,V) - программа выдачи в K -канал M-6000 первого слова, соответствующего V. При C=1 сигнал "Выполнить" имеется, при C=0 - отсутствует.

18. CALL(35,K,L,V) - программа выдачи первого слова, соответствующего V, в L -канал MVB, подключенный к K -каналу M-6000.

19. CALL(24,K,G) - программа опроса готовности K -канала M-6000.

G=0 - если K -канал не готов,
G=1 - если K -канал готов.

20. CALL(34,K,G) - программа выдачи в K -канал сигнала "Продолжение ввода-вывода" (G=1) либо "Останов ввода-вывода" (G=0).

При опросе готовности СИД-1000 рекомендуется последовательность:

10 CALL(34,K,1)
20 CALL(24,K,G)

Здесь: K - номер (десятичный!) канала СИД-1000, $G=1$ после нажатия клавиши "Передача" либо "Прием", что позволяет установить наличие запроса от человека без использования оператора INPUT.

21. CALL(23,V,M,S,R,W) - программа для работы с отдельными разрядами первого слова, соответствующего V , а также для перевода 2-10-кода в число с плавающей запятой. Здесь M - маска для выделения разрядов (при $M=1$ выделяется один разряд в V , при $M=3$ - два разряда, при $M=7$ - три разряда и т.д.), $S \geq 0$ соответствует числу сдвигов вправо, начиная с младшего разряда из всех, выделяемых M . При $R=1$ осуществляется перевод выделенного 2-10-кода в число с плавающей запятой и занесение результата в W .

Эта программа обычно используется с CALL(26,...) либо с CALL(25,...). Пусть, например, нужно принять 2-10-код десяти ($M=1023$) младших разрядов ($S=0$) прибора, подключенного к 35-каналу $M=6000$. Это можно сделать так:

```
10 CALL(26,35,1,V)
20 CALL(23,V,1023,0,1,W)
```

22. CALL(33,W,M,S,P,V) - программа, обратная предыдущей. Она осуществляет преобразование числа с плавающей запятой в двоичное число V . Поскольку код V может быть составным (напр., 16-й разряд соответствует сигналу "Пуск-Стоп" прибора №1, 15-й разряд - сигналу "Пуск-Стоп" прибора №2, 14-12-й разряды - коду управления прибором №3 и т.д.), то возникает необходимость такой организации работы с выделенными маской M разрядами, которая сохранила бы значения остальных разрядов. Для этой цели вредена ячейка с идентификатором P ("Память канала").

Число W преобразуется в двоичный код, в нем с учетом сдвигов влево на $S \geq 0$ выделяется маской M группа двоичных разрядов, а затем эта группа заносится в P на соответствующее S и M место. Результат преобразований появляется в V (в первом слове из двух).

Пусть, например, нужно выдать код 194 на 8-разрядный ПКТ $M=255, S=6$, находящийся в 30-канале. Это можно сделать так:

```
10 LET P=0
```


20 CALL(33,194,255,6,P,V)

30 CALL(36,30,1,V)

23. CALL(12,R,A,B) - программа пересылок ячеек. При R=0 засылается первая ячейка A в первую ячейку B, при R=1 - первая ячейка A во вторую B, при R=2 - вторая ячейка A в первую B, при R=3 - вторая ячейка A во вторую B.

Эта программа используется для упаковки и распаковки информации, полученной с каналов M-6000, либо любой информации, находящейся в пределах от -32757 до +32767. Программа позволяет осуществить двойную экономию памяти, поскольку в каждых двух ячейках, отводимых BASIC для хранения чисел, можно хранить не менее двух запакованных чисел.

24. CALL(43,N) - программа разметки экрана СИД-1000; она позволяет вывести информацию последующими операторами PRINT, начиная с N - строки на экране (N=1-16).

Рекомендуемая последовательность операций:

10 CALL(43,N)

20 PRINT "N-СТРОКА"

25. CALL(42,R,K) - программа настройки драйверов BASIC на K - каналы M-6000. При R=0 - настройка СИД-1000. При R=1 - FS-1500, при R=2 - ПМ-150, при R=3 - экран СИГД, при R=4 - пульт СИГД, при R=5 - канал таймера.

Пример использования:

10 CALL(42,0,21)

20 PRINT "ПЕРВЫЙ СИД"

30 CALL(42,0,22)

40 PRINT "ВТОРОЙ СИД"

Здесь по 20 - строке будет сделан вывод текста на СИД-1000, подключенный к 21-каналу, а по 40 - строке - на другой СИД-1000, подключенный к 22-каналу.

Временные характеристики программ

При программировании задач в режиме реального времени важно учитывать временные характеристики программных средств. BASIC M-6000 выполняет программы примерно в 8-10 раз медленнее, чем FORTRAN M-6000, а последний - в 2-3 раза медленнее, чем ASSEMBLER M-6000. Однако при этом для программирования задач затраты времени обратно пропорциональны этим числам. Таким образом, программирование задачи на BASIC M-6000 происходит более чем на порядок быстрее по сравнению с программированием на ASSEMBLER.

Ускорить решение задачи на BASIC M-6000 можно, программируя наиболее критичные ко времени участки процессов управления экспериментом на ASSEMBLER M-6000 и подключая такие программы к другим CALL-программам (имеются в виду описанные в данной работе).

В табл.2 приведены ориентировочные временные характеристики CALL-программ, номера которых совпадают с описанием.

Т а б л и ц а 2

Затраты времени на CALL-программу, мс

Номер программы	Время исполнения, мс	Номер программы	Время исполнения, мс
1	300	26	3,0
2	0,8	29	2,5
3	2,0	30	0,4
4	2,0	31	0,4
5	1,5	32	0,4
10	1,7	33	6,0
11	1,7	34	2,0
12	3,0	35	4,0
20	0,3	36	3,0
21	0,3	39	2,0
23	7,0	40	0,4
24	2,0	41	0,4
25	4,0	42	3,0
		43	0,3

Ю.Я.Пуранс
ИФТТ ЛГУ им.Петра Стучки

АНАЛИЗ СПЕКТРОВ ЭПР Mn^{2+} В ПОЛИКРИСТАЛЛАХ

Составлена программа для анализа экспериментальных спектров ЭПР Mn^{2+} в поликристаллах при величинах тонкого взаимодействия D и E , значительно меньших по сравнению с величиной зеемановского. Анализ проведен на основе сравнения экспериментальных спектров ЭПР Mn^{2+} с теоретически рассчитанными. В расчете спектров учтена конечная ширина индивидуальной линии. Вероятности переходов вычислены по методу Бира. Резонансные магнитные поля рассчитаны по теории возмущений.

В в е д е н и е

Применение ЭВМ для анализа спектров ЭПР в неупорядоченных системах позволяет получить ценную информацию о разбросе параметров спин-гамильтониана. Величина разброса характеризует степень неупорядоченности такой системы. Для расчета спектра ЭПР в неупорядоченных системах необходимо иметь возможность достаточно точно рассчитывать форму спектра ЭПР в поликристаллах, т.е. рассчитывать ее без разброса параметров спин-гамильтониана. Однако опубликованные методы расчета спектра ЭПР Mn^{2+} в поликристаллах [1-3] не позволяют получить хорошего согласия между теоретически рассчитанными и экспериментальными спектрами ЭПР Mn^{2+} в поликристаллах из-за грубого учета угловой зависимости вероятности переходов между уровнями сверхтонкой структуры (СТС).

В данной работе описывается программа, составленная для анализа экспериментальных и расчета теоретических спектров ЭПР Mn^{2+} в поликристаллах при величинах тонкого

взаимодействия D и E , много меньших величины зеемановского взаимодействия.

Учет угловой зависимости вероятности переходов между уровнями СТС проведен по методу Бира [4], который позволяет достаточно точно учесть угловую зависимость вероятности переходов между уровнями СТС и для монокристаллов дает хорошее согласие с экспериментом. В расчете учтена конечная ширина индивидуальной линии.

Методика расчета спектров

Нами была использована следующая методика расчета спектра ЭПР Mn^{2+} в поликристаллах. Спектр описывался спин-гамильтонианом следующего вида:

$$\hat{H} = g\beta(\vec{S} \cdot \vec{H}) + D[S_z^2 - \frac{1}{3}S(S+1)] + E(S_x^2 - S_y^2) + A(\vec{S} \cdot \vec{I}),$$

где $S = 5/2$, $I = 5/2$; g - изотропный g -фактор, β - магнетон Бора, H - величина внешнего магнитного поля, D и E - параметры тонкого взаимодействия, A - изотропная константа сверхтонкого взаимодействия, Z - ось симметрии парамагнитного центра.

Расчет производился для электронного перехода $M = I/2 \rightarrow -I/2$, где M - собственное значение оператора S_z . Линии, соответствующие другим электронным переходам, в поликристаллах при наличии тонкого взаимодействия имеют малую амплитуду вследствие угловой зависимости.

Расчет проводился по форме:

$$U(H) = \sum_{i=-1}^1 \sum_{m=-5/2}^{5/2} \int_0^\pi \int_0^{2\pi} W_{1/2, m; -1/2, m+1}(\theta, \varphi) \times \\ \times F\left(\frac{H - H_{1/2, m; -1/2, m+1}(\theta, \varphi)}{\Delta H_{pp}}\right) \sin\theta d\theta d\varphi,$$

где $U(H)$ - первая производная спектра ЭПР; $W_{1/2, m; -1/2, m+1}(\theta, \varphi)$ и $H_{1/2, m; -1/2, m+1}(\theta, \varphi)$ - вероятность перехода и резонансное

магнитное поле, соответствующее переходу между уровнями $1/2, m \rightarrow 1/2, m+i$ при углах θ и φ между внешним магнитным полем и осью z ; $F\left(\frac{H-H_{1/2, m} - 1/2, m+i(\theta, \varphi)}{\Delta H_{pp}}\right)$ - функция, описывающая форму индивидуальной линии, аппроксимировалась производной от функции Гаусса или Лоренца; ΔH_{pp} - ширина индивидуальной линии. Суммирование проводилось по шести разрешенным ($i = 0$) и десяти запрещенным ($i = \pm 1$) переходам СТС. Интегрирование проводилось по всем ориентациям θ, φ парамагнитного центра Mn^{2+} относительно внешнего поля H .

При малой величине тонкого взаимодействия D, E по сравнению с зеемановским $g\beta H$ расчет вероятностей переходов и резонансных полей можно провести следующим образом. Вероятность перехода представим в виде [4]:

$$W_{1/2, m; -1/2, m+i}(\theta, \varphi) = \left| \omega_{1/2, -1/2}^{(e)}(\theta, \varphi) \right|^2 \left| P_{m, m+i}^{(x)}(\mathcal{M}_{1/2, -1/2}) \right|^2,$$

где $\left| \omega_{1/2, -1/2}^{(e)}(\theta, \varphi) \right|^2$ - вероятность электронного перехода;

$\left| P_{m, m+i}^{(x)}(\mathcal{M}_{1/2, -1/2}) \right|^2$ - вероятность ядерных переходов;

$\mathcal{M}_{1/2, -1/2} = \cos \alpha_{1/2, -1/2}$ - угол между осями квантования ядерного спина в состоянии $M = 1/2$ и $-1/2$.

Функции $P_{m, m+i}^{(x)}(\mathcal{M}_{1/2, -1/2})$ осуществляют неприводимое представление группы вращений [4, 5]. Можно показать [5], что при указанных величинах D, E и $g\beta H$ вероятность электронного перехода $1/2 \rightarrow -1/2$ почти не зависит от углов θ и φ , т.е. $\left| \omega_{1/2, -1/2}^{(e)}(\theta, \varphi) \right|^2 \approx const$. Поэтому в методике расчета вероятности переходов описывались функциями $\left| P_{m, m+i}^{(x)}(\mathcal{M}_{1/2, -1/2}) \right|^2$. Величина $\mathcal{M}_{1/2, -1/2}$ вычислялась во втором порядке теории возмущений [4]:

$$\mathcal{M}_{1/2, -1/2} = 1 - \frac{|\lambda|^2}{(h\nu)^2},$$

где $\lambda = \sin \theta [\cos \theta (D + E \cos 2\varphi) - iE \sin 2\varphi]$,

а $h\nu$ - величина кванта сверхвысокой частоты.

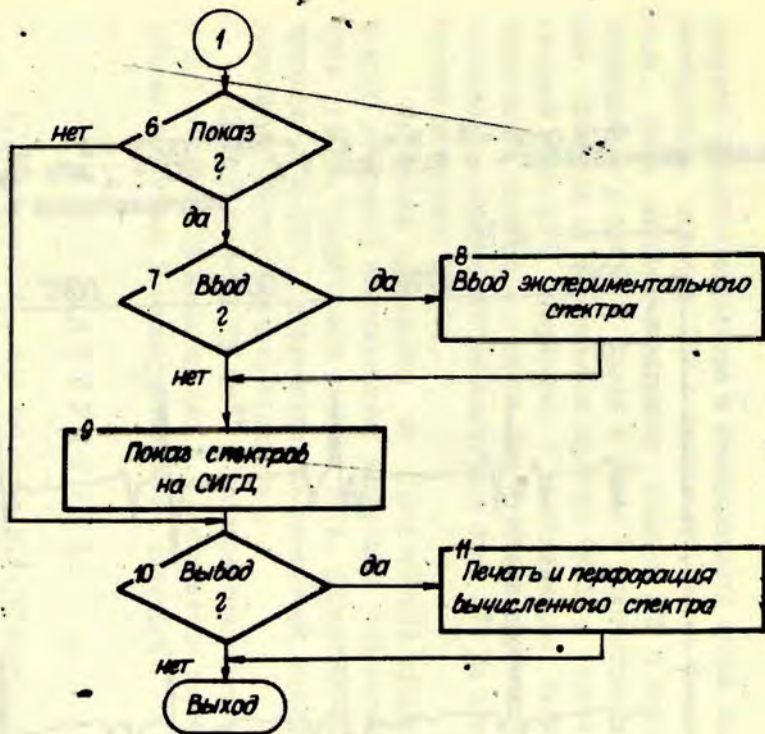
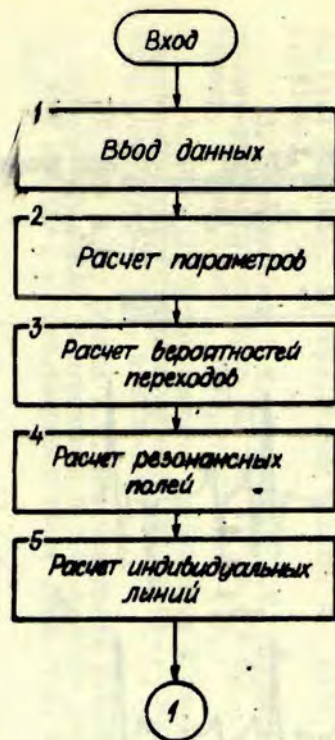
Резонансные магнитные поля $H_{1/2, m; -1/2, m+i}(\theta, \varphi)$ вычислялись по теории возмущений с точностью до членов третьего порядка (приведены в работе [4]) включительно.

Таким образом, выбранная методика позволяет рассчитывать наиболее существенную центральную часть спектра ЭПР при величине тонкого взаимодействия (D и E), много меньшей по сравнению с величиной зеемановского взаимодействия $g\beta H$.

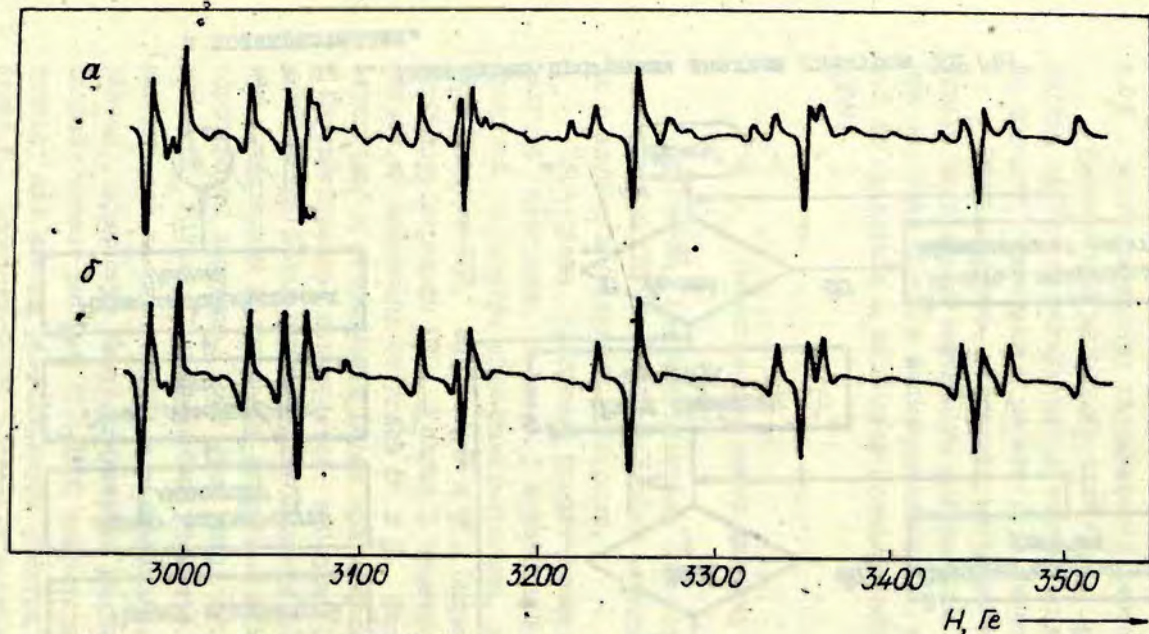
Описание программы анализа спектров

Программа анализа спектров ЭПР позволяет рассчитывать спектры ЭПР Mn^{2+} по указанной методике и сравнивать их с экспериментальными спектрами.

Блок-схема программы представлена на рис. I. После запуска программы в блоке I осуществляется ввод данных. Вводятся параметры спин-гамильтониана, область вычисляемого спектра ЭПР, шаг по H, θ и φ . Задаются интересующие оператора переходы СТС. В блоке 2 происходит расчет параметров, не зависящих от углов θ и φ . Расчет вероятностей переходов и резонансных полей при текущих значениях θ и φ соответственно выполняется в блоках 3 и 4. В блоке 5 учитывается вклад индивидуальной линии в общий спектр ЭПР при вычисленном резонансном магнитном поле с весом, равным вероятности перехода. При этом вклад в общий спектр учитывается только при значениях внешнего магнитного поля, находящихся на расстоянии от резонансного магнитного поля, равном заданному числу полуширины индивидуальной линии. Запрос через дисплей СИД-1000 оператора о необходимости показа или вывода рассчитанного спектра осуществляется в блоке 6. Соответственно в блоке 7 происходит опрос через



Р и с. 1. Блок-схема программы анализа спектров ЭПР Mn^{2+} в поликристаллах.



Р и с. 2. Спектры ЭПР Mn^{2+} в поликристаллах.

а - экспериментальный в $CaWO_4$ при $T = 110$ К, $\nu = 9030$ МГц; б - теоретически рассчитанный при $D = -150$ Гс, $A = -95$ Гс, $g = 2.000$, $\Delta H_{pp} = 3,5$ Гс и $\nu = 9030$ МГц.

дисплей СИД-1000 оператора о необходимости ввода экспериментального спектра ЭПР с перфоленты, через фотосчитыватель. Ввод экспериментального спектра ЭПР с перфоленты выполняется в блоке 8. Далее в блоке 9 осуществляется показ спектров на графическом дисплее СИГД, а запрос через дисплей СИД-1000 оператора о необходимости вывода вычисленного спектра - в блоке 10. Печать и перфорацию вычисленного спектра ЭПР обеспечивает блок 11. На этом программа завершает работу.

Программа составлена на языке FORTRAN II для ЭВМ М-6000 следующей комплектации: процессор, оперативная память (16К), графический дисплей СИГД, алфавитно-цифровой дисплей СИД-1000, устройства ввода-вывода перфоленты и устройство быстрой печати VIDEOTON.

Пример расчета ЭПР Mn^{2+} в поликристаллическом $CaWO_4$ с 0,1 вес.% Mn показан на рис.2. Наблюдается хорошее согласие расчетных и экспериментальных спектров.

ЛИТЕРАТУРА

1. de Wijn H.W., van Balderen R.P. Electron Spin Resonance of Manganese in Borate Glasses. - J.Chem.Phys., 1967, vol.46, No.4, p.1381-1387.
2. Tikhomirova N.N., Dobryakov S.N., Nikolajeva I.V. The Calculation of ESR Spectrum of Mn^{2+} Ions in Polycrystalline Samples. - Phys.status solidi, a, 1972, vol.10, p.593-603.
3. Штейншнейдер Н.Я., Жидомиров Г.М. Расчет анизотропно-уширенных спектров ЭПР для случая $S \gg 1/2$. - Ж. экспер. и теор. химии, 1973, т.9, с.414-418.
4. Бир Г.Л. Интенсивность разрешенных и запрещенных линий электронного парамагнитного резонанса. - Физ. твердого тела, 1963, т.5, с.2236-2247.
5. Бир Г.Л., Сочава Л.С. Интенсивность разрешенных и запрещенных линий электронного парамагнитного резонанса Mn^{2+} в $SrCl_2$. - Физ. твердого тела, 1963, т.5, с.3594-3606.

Листинг программы анализа спектров

```

FTN,B,L
PROGRAM SELPD
DIMENSION P(12),S(18),U(6)
COMMON X(12),UD(12)
C      ВВОД ДАННЫХ
WRITE (2,1)
1  FORMAT ('D,E,A,H,G')
   READ (1,*) D,E,A,H,G
   WRITE (2,2)
2  FORMAT ('N1,N2,N3,NO,NF,Z1')
   READ (1,*) N1,N2,N3,NO,NF,Z1
   WRITE (2,21)
21 FORMAT ('M1,M2,VA,VF')
   READ (1,*) M1,M2,VA,VF
C      РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ
DC 4ϕ L1=N1,N2,N3
L2=(L1-N1)/N3+1
U(L2)=ϕ.
4ϕ CONTINUE
G1=1./G**2
Z1=Z1*G
C=1./G
HR=512./(H*H)
DO 15 M=M1,M2
V=M
V=V-3.5
V2=V*V
V3=V2*V*2.
V4=2.*V
X=H-A*V
X1=1./X
A1=A*X1
A2=A1*A1
H2=.5*A2*X
H3=H2*H2/A
S(M)=-A*V-H2*(8.75-V2)+H3*(V3-32.5*V)
S(M+6)=-.5*A*(V4+1.)+H2*(V2+V+.25)
S(M+6)=S(M+6)-H3*(V3+3.*V2+37.5*V+18.25)
S(M+12)=-.5*A*(V4+1.)+H2*(V2-16.75+V)
S(M+12)=S(M+12)-H3*(V3+3.*V2-96.5*V-48.75)
15 CONTINUE
C      РАСЧЕТ ВЕРОЯТНОСТЕЙ ПЕРЕХОДА
DO 5 L=1,91,NO
V=L
Z=(V-1.)*.17453E-1
C1=SIN(Z)
C2=C1*C1
C3=1.-C2
C4=D*(3.*C3-1.)
C5=1.+C3
CG=C1*G1
DO 3 I=1,181,NF
V1=I
Y=(V1-1.)*.17453E-1
Y=2.*Y
B1=COS(Y)*E
B2=SIN(Y)*E
B3=B2*B2

```

```
67 DO 1ΦΦ L1=K4,K5,N3
    L2=(L1-N1)/N3+1
    X=L1
    T=(X-H5)*G
    T1=T*T
    U(L2)=U(L2)+P(M)*T*CG/((1.+T1)**2)
1ΦΦ CONTINUE
61 IF (V-VF) 79,6Φ
79 K8=H7-Z1
    IF (K8-N2) 8Φ,6Φ
8Φ K9=H7+Z1
    IF (K9-N1) 64,81
81 IF (K9-N2) 65,82
82 K9=N2
65 IF (K8-N1) 83,66
83 K8=N1
84 GO TO 68
66 K8=N3*((K8-N1+N3/2)/N3)+N1
68 DO 1Φ1 L1=K8,K9,N3
    L2=(L1-N1)/N3+1
    X=L1
    T=(X-H7)*G
    T1=T*T
    U(L2)=U(L2)+P(M+6)*T*CG/((1.+T1)**2)
1Φ1 CONTINUE
64 K6=H6-Z1
    IF (K6-N2) 85,6Φ
85 IF (K7-N2) 69,86
86 K7=N2
69 IF (K6-N1) 87,7Φ
87 K6=N1
88 GO TO 71
7Φ K6=N3*((K6-N1+N3/2)/N3)+N1
71 DO 1Φ2 L1=K6,K7,N3
    L2=(L1-N1)/N3+1
    X=L1
    T=(X-H6)*G
    T1=T*T
    U(L2)=U(L2)+P(M+6)*T*CG/((1.+T1)**2)
1Φ2 CONTINUE
6Φ CONTINUE
3 CONTINUE
5 CONTINUE
B=(18Φ/NF+1)*(9Φ/NO+1)
DO 24 L1=N1,N2,N3
L2=(L1-N1)/N3+1
U(L2)=U(L2)*1ΦΦΦ./B
UD(L2)=U(L2)
24 CONTINUE
ΠOKA3
16 WRITE (2,6)
6 FORMAT ("SIGDA")
READ (1,*) SIGDA
NSIGB=SIGDA
N=Φ
Q=.ΦΦΦΦ1
W1=Q
```

DL=(B1+D)
DL=DL*DL
DL=DL*C3+B3
DL=DL*C2
DS=.5*(C4-3.*C2*B1)
DR=D*C2-B1*C5
DR=DR*DR
DR=.4625*(DR+4.*C3*B3)
R=1.-DL*HR
Q1=.5+.5*R
Q2=Q1*Q1
Q3=Q2*Q1
Q4=Q3*Q1
Q6=.5-.5*R
Q7=2.5*R
Q8=Q7*R-.5
P(1)=Q4*Q1
P(2)=Q3*(1.5-Q7)**2
P(3)=Q1*(Q8-R)**2
P(6)=P(1)
P(5)=P(2)
P(4)=P(3)
P(7)=5.*Q6*Q4
P(11)=P(7)
P(8)=Q2*(1.-R)*(1.5-Q7)**2
P(10)=P(8)
P(9)=Q6*(Q8+R)**2
РАСЧЕТ РЕЗОНАНСНЫХ ПОЛЕЙ
ДО 6φ M=M1,M2
V=M
V=V-3.5
X=N-A*V
X1=1./X
X2=X1*X1
H9=N+(16.*DL-32.*DR)*X1
H1=(-72.*DL+16.*DR)*X2*A
H4=8.*A*A*DS*X2
H5=H9+(2.*H1-H4)*V
H5=H5+S(M)
H6=H9+H5*(2.*V+1.)+S(M+6)
H7=H9+(H1-H4)*(2.*V+1.)
H7=H7+S(M+12)
РАСЧЕТ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЛИНИИ
K4=H5-Z1
K7=H6+Z1
IF (K4-N2)72,6φ
72 IF (K7-N1)6φ,73
73 IF (V-VA)61,74
74 K5=H5+Z1
IF (K5-N1)61,75
75 IF (K5-N2)62,76
76 K5=N2
62 IF (K4-N1)77,63
77 K4=N1
78 GO TO 67
63 K4=N3*((K4-N1+N3/2)/N3)+N1

```

W2=Q
W3=Q
W4=Q
IF (NSIGD)1φ,12,7
7 DO 13φ L1=N1,N2,N3
  L2=(L1-N1)/N3+1
  X(L2)=L1
  IF (UD(L2))11φ,111
111 IF (UD(L2)-W1)13φ,112
112 W1=UD(L2)
  GO TO 13φ
11φ IF (UD(L2)-W2)12φ,13φ
12φ W2=UD(L2)
13φ CONTINUE
  N=L2
  NS=N
  XK=X(N)-X(1)
  W1=W1-W2
  XL=X(1)
C
12 WRITE (2,9)
9 FORMAT ("NFS")
  READ (1,*) NFS
  IF (NFS)26φ,26φ,11
C
11 NS=NFS+N+1
  X(N+1)=-5.
  UD(N+1)=φ.
  NI=N+2
  DO 17φ I=NI,NS
    READ (5,*) UD(I),X(I)
    IF (UD(I))16φ,15φ
15φ IF (UD(I)-W3)17φ,153
153 W3=UD(I)
    GO TO 17φ
16φ IF (UD(I)-W4)163,17φ
163 W4=UD(I)
17φ CONTINUE
    W3=W3-W4
    IF (X(1)-X(N+2))182,185
182 XL=X(1)
    IF (NSIGD)185,185,186
185 XL=X(N+2)
186 IF (X(N)-X(NS))188,191
188 XL1=X(NS)
19φ GO TO 192
191 XL1=X(N)
  IF (NSIGD)194,194,192
194 XL1=X(NS)
192 XK=XL1-XL
26φ DO 24φ I=1,NS
  X(I)=X(I)-XL
  X(i)=1φφφ.*X(I)/XK
  IF (I-N)23φ,23φ,236
23φ UD(I)=(UD(I)-W2)*SIGDA/W1
  GO TO 24φ
236 UD(I)=(UD(I)-W4)*SIGDA/W3
24φ CONTINUE
  X(N+1)=-5.

```

```
WRITE (2,17)
17 FORMAT ("PER")
  READ (1,*) PER
  IF (PER-.5)18,19
19 DO 25 L1=N1,N2,N3
  L2=(L1-N1)/N3+1
26 FORMAT(I3,"DATA",F8.5,"",I4)
  WRITE (4,26)K1,UD(L2),L1
25 CONTINUE
18 N=NS
C   ПОКАЗ СПЕКТРОБ НА СИГД
  CALL SIGLV(N)
14 CONTINUE
  WRITE (2,13)
13 FORMAT ("VAZ")
  READ (1,*) VAZ
  IF (VAZ-.5)14,16
C   ВЫВОД
14 WRITE (2,27)
27 FORMAT ("K1,WP,WV")
  READ (1,*) K1,WP,WV
C   ПЕЧАТЬ И ПЕРФОРАЦИЯ ВЫЧИСЛЕННОГО СПЕКТРА.
  DO 4 L1=N1,N2,N3
  L2=(L1-N1)/N3+1
  K1=K1+1
24 FORMAT(I3," DATA ",F8.5,"",I4)
  IF (WP-.5)49,48
48 WRITE (4,24)K1,U(L2),L1
49 WRITE (2,24)K1,U(L2),L1
  IF (WV-.5)4,54
54 WRITE (6,24)K1,U(L2),L1
  4 CONTINUE
  STOP
  END
  ENDS
```

##

Статья поступила 9 января 1978 года.

Ю.А.Пуранс, Г.Г.Бегун, Ю.А.Кузьмин, И.К.Амаяс
НИИ ФТТ ЛГУ им.Петра Стучки

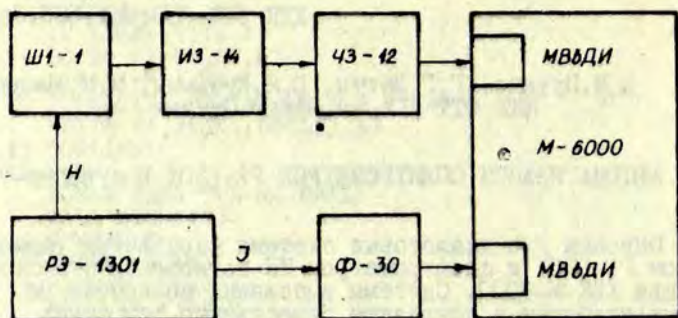
АВТОМАТИЗАЦИЯ СПЕКТРОМЕТРОВ РЭ-1301 И SPECORD-721R

Описаны две диалоговые системы управления радиоспектрометром РЭ-1301 и спектрометром ИК-поглощения SPECORD-721R с помощью УВК М-6000. Системы выполнены полностью на промышленных приборах и позволяют существенно сократить затраты времени на обработку измерительной информации. Программирование систем осуществлено на расширенном языке BASIC.

Получение спектральной информации является одной из наиболее популярных задач экспериментальной физики твердого тела [1]. Оперативность обработки этой информации существенно зависит от затрат на представление ее в дискретной форме. Известны спектрометры, обеспечивающие выдачу измерительной информации непосредственно в виде чисел [2,3]. Однако у большинства физиков таких приборов пока что не имеется и им приходится усовершенствовать находящиеся в их распоряжении спектрометры с аналоговым способом регистрации информации. В настоящей работе описан достаточно простой вариант решения задачи преобразования аналоговой информации в числовую, основанный на использовании промышленных измерительных приборов и УВК М-6000.

Автоматизация радиоспектрометра РЭ-1301

В работе [2] сообщается о варианте подключения радиоспектрометра РЭ-1301 к ЭВМ М-400, базирующемся на разработке аппаратуры сопряжения, выполненной в стандарте КАМАК. Этот вариант при всех преимуществах имеет тот недостаток, что из-за отсутствия необходимых промышленных модулей КАМАК их приходится разрабатывать и изготавливать самостоятельно.



Р и с. 1. Блок-схема автоматизация радиоспектрметра РЭ-130I.

Ш1-1 - измеритель магнитной индукции; Ч3-12 - частотомер; И3-14 - пересчетное устройство; Ф-30 - цифровой вольтметр; МВДИ - модуль ввода дискретной информации М-6000 и УВК М-6000.

В предлагаемом нами варианте сопряжение РЭ-130I выполнено на промышленных приборах (рис. 1).

Магнитное поле определяется измерителем магнитной индукции Ш1-1 по резонансу датчика ядерного магнитного резонанса, частота которого измеряется с помощью частотомера Ч3-12, имеющего на входе пересчетное устройство И3-14, согласованное с Ш1-1. Выход Ч3-12 через интерфейсную плату МВДИ связан с М-6000, которая по программе опрашивает и определяет значение интенсивности магнитного поля.

Сигнал электронного парамагнитного резонанса определяется по напряжению на входе самопишущего прибора, имеющегося в спектрометре РЭ-130I. Это напряжение измеряется цифровым вольтметром Ф-30, подключенным через интерфейсную плату МВДИ к М-6000.

При управлении экспериментом на Ч3-12 устанавливается нужная частота запуска измерений, а РЭ-130I настраивается на выбранный режим управления. Физик сообщает в режиме диалога с М-6000 продолжительность сканирования спектра ЭПР, число замеров, начальное значение интенсивности магнитного поля H_0 , с которого нужно запоминать информацию о спектре, и другие параметры. М-6000 дожидается значения H_0 и начинает накапливать спектр в памяти. По окончании измерений фи-

зик может либо отперфорировать спектр, либо вывести его на графопостроитель, либо отпечатать. Во время измерений контролируется работа приборов и результаты замера, anomальные замеры устраняются. Таким образом, использование М-6000 позволяет не только получить спектр ЭПР в численной форме, пригодной для последующей обработки, но и повысить качество измерений. Например, устраняются искажения, связанные с нелинейностью и нестабильностью развертки магнитного поля. Как известно, для аналогового способа регистрации, принятого в РЭ-1301, это является трудной задачей.

Программирование процесса измерений и связи с физиком выполнено на основе расширенного языка BASIC*. Последующая обработка спектров ЭПР проводится по программам для М-6000.

Автоматизация спектрометра ИК-поглощения

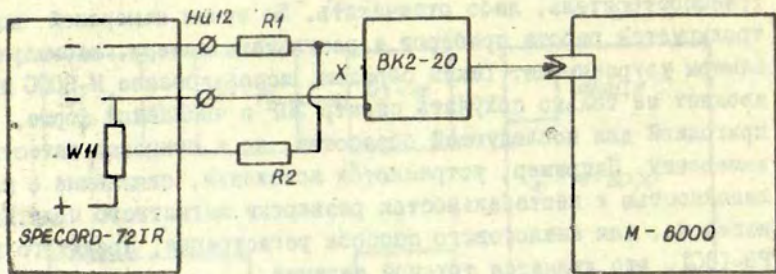
В настоящей работе описан вариант автоматизации широко распространенных спектрометров типа SPECORD-72IR, не имеющих специальных каналов связи с ЭВМ.

Известны спектрометры ИК-поглощения, которые изготавливаются в виде, непосредственно пригодном для подключения к ЭВМ. Примером такого спектрометра является SPECORD-72IR [3].

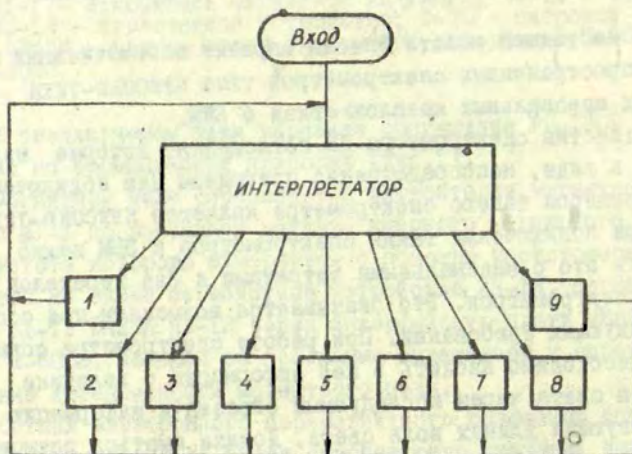
При подключении таких спектрометров к ЭВМ важно осуществить это с минимальными затратами и без переделок схем самих спектрометров. Это оказывается возможным при соблюдении следующих требований. При работе спектрометра совместно с ЭВМ необходимо вводить в нее информацию о величине пропускания света через исследуемый образец и информацию о соответствующих длинах волн света. Должна иметься возможность различать состояние сканирования спектра и состояние останова прибора.

В предлагаемом варианте сигнал о величине пропускания света снимается с потенциометра дистанционной передачи измерений, который имеется в SPECORD-72IR (потенциометр W11 А]). Информация о длинах волн света может быть получена,

* Кузьмина Л.М., Кузьмин Ю.А. Расширение BASIC М-6000. См. наст. сб., с. 46-58.



Р и с. 2. Схема подключения спектрометра SPECORD-72IR к УВК М-6000.



Р и с. 3. Блок-схема программы измерения ИК-спектров.

исходя из линейности (во времени) развертки спектра, для этого необходимо сообщить ЭВМ начальную длину волны света и скорость развертки спектра, все промежуточные значения длин волн света могут быть определены из формулы:

$$L = L_0 + v * T,$$

где L - длина волны света в момент времени T , v - скорость развертки спектра, L_0 - начальная длина волны света. Момент начала развертки спектра можно определить по сигналу на разъеме *Hü 12* [4]. В состоянии покоя этот сигнал равен приблизительно 6 В, во время сканирования спектра он равен нулю.

На рис.2 показана схема подключения SPECORD-72IR к M-6000. На вход цифрового вольтметра поступает суммарный сигнал X от *Hü 12* и *W11*. Если развертки спектра нет, то $X < 0В$, при развертке X равен сигналу с *W11*. Таким образом, M-6000 может по полярности X установить момент начала развертки спектра и момент конца развертки.

На рис.3 показана блок-схема программы измерений ИК-спектров поглощения на SPECORD-72IR. Программа является диалоговой, т.е. экспериментатор может выбрать любую из II инструкций, а M-6000, обратившись к соответствующей подпрограмме, выполнить ее. Имеется следующий набор инструкций.

1. ОСТАНОВ - прекращается выполнение программы.
2. ПУСК ЧАСОВ - запускается счетчик времени начала измерений спектра.
3. ОДНОКРАТНЫЙ ЗАМЕР - измеряется значение величины пропускания света.
4. ЗАМЕР СПЕКТРА - измеряется и запоминается спектр.
5. ПЕРФОРАЦИЯ СПЕКТРА - спектр выводится на перфоленту.
6. ЧИСТКА МАССИВА - значения элементов массива спектра устанавливаются в нуль.
7. НОРМИРОВКА - спектр нормируется.
8. ПРОСМОТР СПЕКТРА - значения спектра выводятся на алфавитно-цифровой дисплей СИД-1000.
9. ДИСПЛЕЙ - спектр выводится в виде графика на дисплей СИД.
10. ГРАФИК - спектр выводится на графопостроитель ЦДС-021М.

Возможности использования расширенного BASIC-транслятора для программирования задач в режиме реального масштаба времени иллюстрирует листинг программы измерения ИК-спектров поглощения.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Кузьмин Ю.А. Базовые эксперименты и обработка данных в области физики твердого тела. - Учен. зап. Латв. ун-та, 1976, т.255, с.3-36.

2. Анясимов А.П., Седов А.И., Семендяев Н.Н., Корнилов В.В., Потылиця Г.П. Автоматизированная система сбора и обработки спектральной информации магнитного резонанса. - В кн.: Некоторые проблемы автоматизации биологического эксперимента. Пушкино, 1975, с.15-26.

3. Кунат Д. ИК-спектроскопия с помощью спектрофотометра СПЕКОРД-75ИР, подключенного к малой управляющей ЭВМ КСР-4100. ГДР. Н/П "КАРЛ ЦЕЙС ИЕНА", 1976, 25 с.

4. Specord 71IR, Specord 72IR. Gebrauchsanleitung, VEB "Carl Zeiss JENA", 1971, S.107.

Листинг программы измерения ИК-спектров поглощения

```
2 PRINT "ПРОГРАММА -----SPECORD 72IR-----"
5 DIM J[25Ф],L[25Ф],X[251]
6 LET K=29
7 LET I=W*Ф
1Ф PRINT "ЧТО ДЕЛАТЬ?"
2Ф INPUT D
21 IF D=1 THEN 3ФФ
22 IF D=2 THEN 5ФФ
23 IF D=3 THEN 4ФФ
24 IF D=4 THEN 7ФФ
25 IF D=5 THEN 6ФФ
26 IF D=6 THEN 8ФФ
29 IF D=9 THEN 12ФФ
3Ф IF D=1Ф THEN 15ФФ
31 IF D=11 THEN 21ФФ
75 IF D=Ф THEN 2ФФФ
76 PRINT "НЕПОНЯТНО"
77 GOTO 2Ф
1ФФ REM SUB1 ОПРОС СИД,ВЫВОД
11Ф CALL (24,2Ф,Г)
12Ф PRINT I,W
13Ф CALL (34,2Ф,1)
14Ф RETURN
2ФФ REM SUB2 ОПРОС ВК-2-2Ф
21Ф CALL (26,К,Ф,В)
22Ф CALL (23,В,-1,Ф,1,В)
23Ф LET W=W-4ФФФ
24Ф IF W >= Ф THEN 26Ф
25Ф LET W=-W-4ФФФ
26Ф RETURN
3ФФ REM 1 ***** STOP
31Ф PRINT "КОНЕЦ"
32Ф STOP
4ФФ REM 3 ***** ОДНОКРАТНЫЙ ЗАМЕР
4Ф1 GOSUB 41Ф
4Ф2 GOTO 1Ф
```

```
41Ф PRINT "ОДНОКРАТНЫЙ ЗАМЕР"  
42Ф GOSUB 2ФФ  
43Ф GOSUB 1ФФ  
44Ф RETURN  
5ФФ REM 2 ***** ПУСК ЧАСОВ  
5Ф1 GOSUB 51Ф  
5Ф2 GOTO 1Ф  
51Ф CALL (39,1)  
52Ф PRINT "ЧАСЫ ЗАПУЩЕНЫ"  
53Ф RETURN  
6ФФ REM 5 ***** ПЕРФОРАЦИЯ СПЕКТРА  
6Ф1 GOSUB 61Ф  
6Ф2 GOTO 1Ф  
61Ф PRINT " ПЕРФОРАЦИЯ СПЕКТРА";I;"ТОЧЕК"  
62Ф CALL (3Ф)  
63Ф PRINT I  
64Ф FOR L=1 TO I  
65Ф CALL (3Ф)  
66Ф PRINT L[L];", ";J[L]  
67Ф CALL (31)  
68Ф NEXT L  
69Ф PRINT "СПЕКТР ОТПЕРФОРИРОВАН"  
695 RETURN  
7ФФ REM 4 ***** ЗАМЕР СПЕКТРА  
7Ф1 GOSUB 71Ф  
7Ф2 GOTO 1Ф  
7Ф8 GOSUB 2ФФ  
7Ф9 IF W<-1ФФ THEN 7Ф8  
71Ф PRINT " ЗАМЕР СПЕКТРА"  
711 GOSUB 2ФФ  
712 IF W<-1ФФ THEN 711  
72Ф FOR I=1 TO 25Ф  
73Ф GOSUB 2ФФ  
735 IF W<-1ФФ THEN 775  
*74Ф LET J[I]=W
```

```
745 LET L[I]=I
75φ GOSUB 1φφ
755 WAIT (41φ)
76φ IF G=1 AND I>2 THEN 78φ
77φ NEXT I
775 LET I=I-1
78φ PRINT "СПЕКТР ЗАМЕРЕН В";I;"ТОЧКАХ"
79φ RETURN
8φφ REM 6 ***** ЧИСТКА МАССИВА
8φ1 GOSUB 81φ
8φ2 GOTO 1φ
81φ FOR L=1 TO 25φ
82φ LET J[L]=φ
83φ NEXT L
84φ PRINT "МАССИВ ПУСТОЙ"
85φ RETURN
12φφ REM 9 ***** НОРМИРОВКА
12φ1 GOSUB 121φ
12φ2 GOTO 1φ
121φ LET M1=2φφφ
122φ LET M2=φ
123φ FOR L=1 TO I
124φ IF J[L]>M1 THEN 126φ
125φ LET M1=J[L]
126φ IF J[L]<M2 THEN 128φ
127φ LET M2=J[L]
128φ NEXT L
129φ FOR L=1 TO I
13φφ LET J[L]=1φφφ-1φφφ*(J[L]-M1)/(M2-M1)
13φ5 LET X[L]=1φφφ*L[L]/L[I]
131φ NEXT L
132φ PRINT "СПЕКТР ПРОНОРМИРОВАН"
133φ RETURN
15φφ REM 1φ ***** ПРОСМОТР СПЕКТРА
151φ GOSUB 153φ
152φ GOTO 1φ
153φ FOR L=1 TO I
```



```
154Φ PRINT L,L[L],J[L]
155Φ NEXT L
156Φ PRINT "КОНЕЦ СПЕКТРА"
157Φ RETURN
2ΦΦΦ REM Φ ***** DISPLAY •
2ΦΦ1 GOSUB 2Φ1Φ
2ΦΦ2 GOTO 1Φ
2Φ1Φ LET X[1]=-1
2Φ2Φ CALL (1,X[1],J[1],I-1)
2Φ3Φ RETURN
21ΦΦ REM 11 ***** ГРАФИК
21Φ1 GOSUB 211Φ
21Φ2 GOTO 1Φ
211Φ CALL (36,21,Φ,Φ)
2111 CALL (36,22,Φ,Φ)
2112 CALL (36,23,Φ,Φ)
2113 WAIT (1ΦΦΦ)
212Φ FOR L=1 TO I
213Φ LET X1=Y1=R1=Φ
214Φ CALL (33,X[L],1Φ23,6,X1,X)
215Φ CALL (33,J[L],1Φ23,6,Y1,Y)
216Φ CALL (36,21,Φ,X)
217Φ CALL (36,22,Φ,Y)
218Φ WAIT (3ΦΦ)
219Φ CALL (33,1,1,8,R1,R)
2191 CALL (36,23,Φ,R)
2192 WAIT (3Φ)
2194 CALL (36,23,Φ,Φ)
2195 WAIT (3Φ)
2196 NEXT L
2197 CALL (36,21,Φ,Φ)
2198 CALL (36,22,Φ,Φ)
2199 RETURN
9999 END
```

Статья поступила 9 января 1978 года.

Э.Э.Тарденак, А.В.Калниньш
НИИ ФТТ ЛГУ им.Петра Стучки

ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОКАЛЬКУЛЯТОРА "ЭЛЕКТРОНИКА БЗ.18А" ДЛЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЯ

На примере счетчика фотонов рассматриваются возможности применения микрокалькулятора "Электроника БЗ.18А" для предварительной обработки результатов измерения. Приводятся программы вычисления средней частоты темновых и световых импульсов и оптической плотности по результатам измерения, описываются схемы сопряжения калькулятора с измерительным прибором и схемы хранения программ. Применение микрокалькулятора по сравнению с подобным применением микропроцессора дешевле и проще с точки зрения схемотехники и программирования, если решающим фактором не является быстроедействие.

При использовании измерительной техники часто необходима предварительная обработка результатов измерения. В физике это, например, вычисление оптического пропускания или плотности, перевод единиц длины волны на другие и т.д. Если скорости измерения невысоки и время вычисления не является решающим фактором, целесообразно для вычисления применять микрокалькулятор. В таком случае микрокалькулятор может иметь ряд преимуществ по сравнению с универсальным, но сложнопрограммируемым микропроцессором [1]. Кроме элементарных вычислений, такой калькулятор может также выполнять простые функции управления [2,3].

Ниже будет рассмотрено применение микросхемы К145ИП7 микрокалькулятора "Электроника БЗ.18А" в счетчике фотонов, используемом для измерения оптической плотности веществ. Счетчик фотонов работает в режиме синхронной детекции [4]. Исходная для вычислений информация снимается с трех восьмиразрядных двоично-десятичных регистров: время измерения $T_{и}$ - с регистра времени измерения, общее количество свето-

вых и темновых импульсов за все световые полупериоды модуляции N_{L+D} - со светового регистра, а число темновых импульсов за все темновые полупериоды N_D - с темнового регистра. Наибольший интерес для экспериментатора, измеряющего оптическую плотность веществ, представляют три результата:

средняя частота темновых импульсов f_D :

$$f_D = \frac{N_D \cdot 10^5}{T_M}, \quad (1)$$

где 10^5 - приборная константа;

средняя частота световых импульсов f_L :

$$f_L = \frac{N_{L+D} \cdot 10^5}{T_M} - \frac{N_D \cdot 10^5}{T_M}, \quad (2)$$

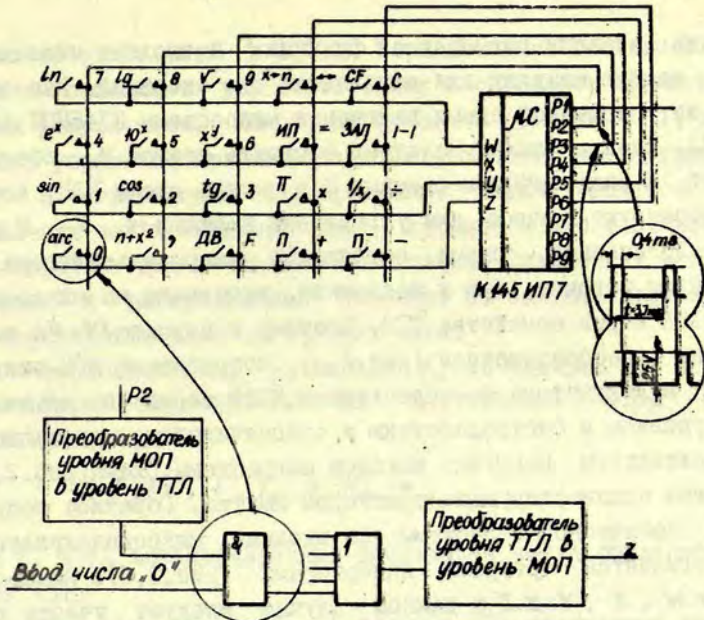
оптическая плотность:

$$D = \lg [N_{0(L+D)} - N_D] - \lg [N_{1(L+D)} - N_D], \quad (3)$$

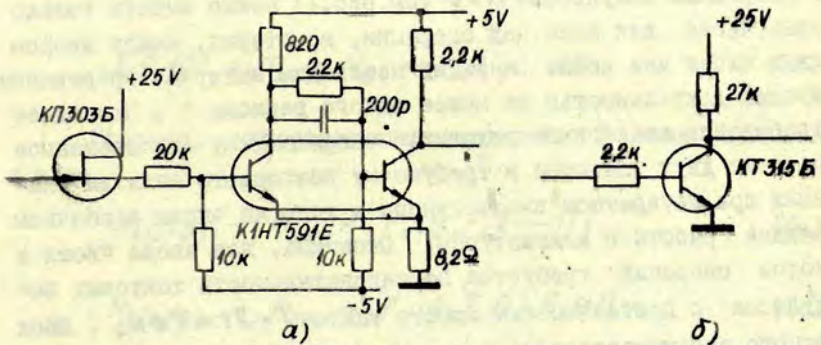
где число N с индексом 0 относится к измерению падающего потока, а число N с индексом 1 - к измерению прошедшего через образец потока света, если все измерения производятся при одном и том же T_M .

Для совместной работы счетчика фотонов с микрокалькулятором необходимо осуществить 1) замену управления от клавиатуры микрокалькулятора на управление от логических схем; 2) сопряжение микрокалькулятора с ТТЛ, т.е. со схемами счетчика фотонов по уровням и быстродействию; 3) выбор оптимальной программы вычислений и 4) организацию последовательной выдачи результатов измерения на этот калькулятор. Для индикации результатов вычислений предполагается использовать имеющийся в калькуляторе индикатор ИВ-21.

Ввод информации с двадцатиклавишной клавиатуры микрокалькулятора в микросхему К145КП7 происходит с мультиплексированием по времени [5] импульсами $P2-P6$ (рис.1), которые одновременно стробируют разряды индикатора ИВ-21.



Р и с. 1. Замещение клавиатуры микрокалькулятора электрически управляемыми схемами.



Р и с. 2. Преобразователи уровней: а) уровней МОП в уровни ТТЛ; б) уровней ТТЛ в уровни МОП.

Наличие клавиши совмещенной функции F позволяет использовать каждую клавишу для выполнения пар операций. Как следует из упрощенной схемы включения микросхемы К145ИП7 (см. рис.1), каждую клавишу следует заменить схемой И, объединенной с аналогичными схемами И в четыре схемы ИЛИ, которые формируют сигналы для управления входами W , X , Y и Z .

Логическая схема сопряжения микрокалькулятора с счетчиком фотонов, как и последний, выполнена на микросхемах К155 серии семейства ТТЛ. Поэтому к выходам $P1-P6$ подключены преобразователи (рис.2,а), сопрягающие МОП-микросхему калькулятора с микросхемами К155 серии по логическим уровням и быстродействию и обеспечивающие минимальную дополнительную нагрузку выходов микросхемы. Схема (рис.2,а) является неинвертирующим триггером Шмитта. Обратное сопряжение логической ТТЛ-схемы со входами микрокалькулятора осуществляется четырьмя инверторами (рис.2,б). Инверсию входов W , X , Y и Z в данном случае следует учесть при проектировании логической части схемы.

Разрабатывая схемы ввода результатов измерения и хранения программ вычислений, необходимо учитывать особенности работы микрокалькулятора. Во-первых, за один период t разрядных импульсов $P1-P9$ (см.рис.1) можно выдать только одно число или один код операции, во-вторых, между вводом двух чисел или кодов операций необходим интервал (прерывание ввода) длительностью не менее одного периода t . Последнее требование аналогично условию, запрещающему одновременное нажатие двух клавиш и требующему повторного нажатия клавиши при двукратном вводе одного и того же числа в обычном режиме работы с клавиатурой. Очевидно, для ввода чисел и кодов операций требуется последовательность тактовых импульсов с длительностью одного такта $T = 2t \approx 7,4 \text{ мс}$. Ввод одного восьмизрядного числа требует 8 тактов, ввод кода операции с учетом совмещенности требует 2 такта. По этой причине ввод константы $\cdot 10^5$ возможен как ввод числа 100 000, требующий 6 тактов, или как ввод степени 10^5 , требующий

всего 3 такта ($5, F$ и 10^X). Использование последнего варианта позволяет упростить схему и сократить время обработки результатов. Как будет показано (см. табл.), дальнейшее упрощение принципиальной схемы достигается унификацией и оптимизацией микропрограмм. Первая сводится к составлению таких микропрограмм, которые можно использовать многократно для вычисления нескольких физических величин, вторая - к распределению операций по тактам, допускающим хорошую минимизацию логических схем.

Микропрограмму вычисления f_D по формуле (I) в кодах клавиатуры микрокалькулятора "Электроника БЗ.18А" можно записать в виде

$$5, F, 10^X, +, T_H, x, N_D, =, \quad (4)$$

где T_H и N_D восьмиразрядные десятичные числа согласно формуле (I).

Для вычисления f_L по формуле (2) необходимо использовать регистр памяти микрокалькулятора, и соответствующая микропрограмма может быть записана как

$$5, F, 10^X, +, T_H, x, N_{L+D}, =, F, x \rightarrow П; \quad (5a)$$

$$5, F, 10^X, +, T_H, x, N_D, =, F, П, F, ИП. \quad (5б)$$

Наконец, микропрограмму вычислений D можно записать в виде

$$N_{0(L+D)}, -, N_{0D}, =, F, \lg, F, x \rightarrow П; \quad (6a)$$

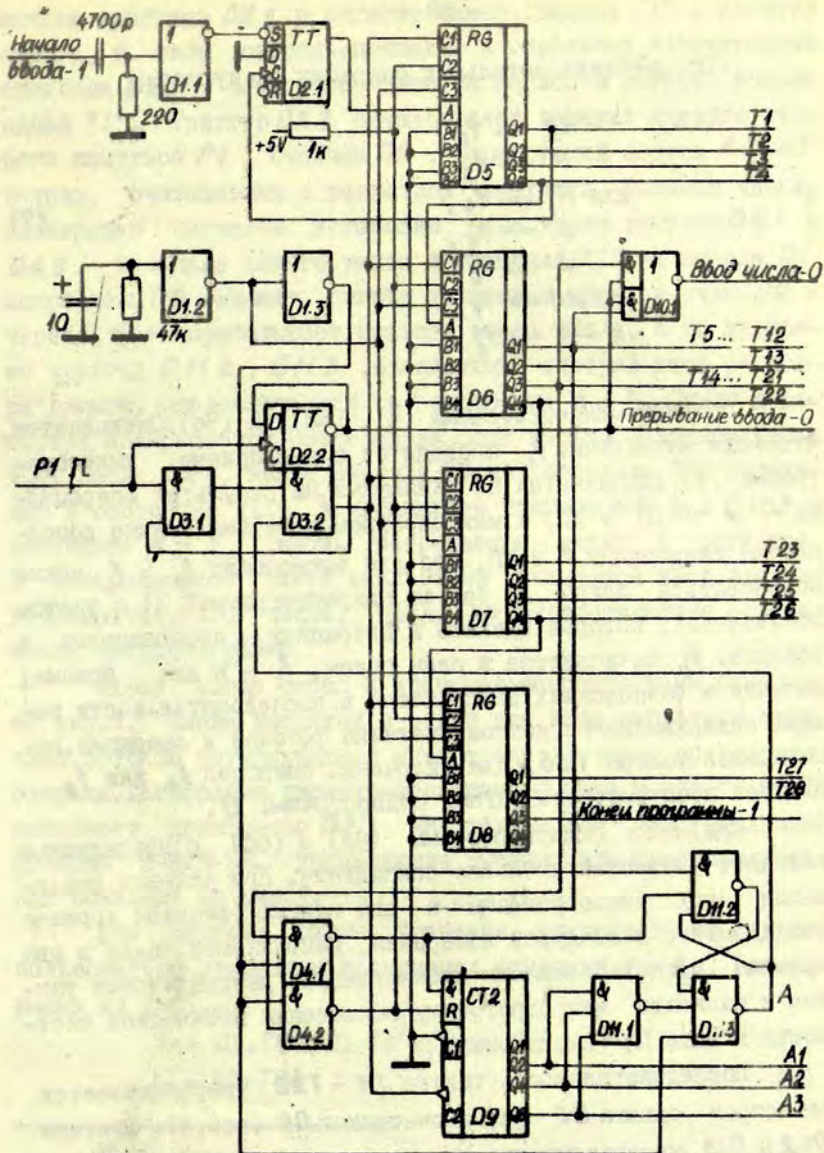
$$N_{1(L+D)}, -, N_{1D}, =, F, \lg, F, П, F, ИП. \quad (6б)$$

Кроме ввода чисел с измерительного прибора, в микропрограммах участвуют операции:

10^X или константа 5, которую обозначим f_1 .

Таблица

Микро- троп- рамма	Вычисление	G					Ввод числа	Ввод числа									
			T1	T2	T3	T4	T5...T12	T13	T14...T21	T22	T23	T24	T25	T26	T27	T28	
П1	Средней частоты темновых импульсов f_D	0					T	N_D									
	Средней частоты световых импульсов f_L	1	f_1	f_3	f_4	f_6		N_{L+D}	f_7				f_3	f_8	f_3	f_7	
П2	Оптической плотности	0					$N_0(L+D)$	N_{0D}									
		1					$N_4(L+D)$	N_{4D}	f_4	f_7	f_3	f_2	f_3	f_4	f_3	f_7	



Р и с. 3. Схема формирователя тактовой последовательности.

Все микросхемы серии К155: D1 - ЛН1; D2 - ТМ2; D3 - ЛМ1; D4 - ЛБ3; D5, D6, D7 и D8 - ИР1, D9 - ИБ5; D10 - ИР1; D11 - ЛБ4.

Обозначение остальных операций следующее:

$$\begin{aligned}
 ig &\Rightarrow f_2, \\
 F &\Rightarrow f_3, \\
 \text{- или } \Pi^- &\Rightarrow f_4, \\
 x &\Rightarrow f_5, \\
 \div &\Rightarrow f_6, \\
 \text{- или } \Pi\Pi &\Rightarrow f_7, \\
 x \rightarrow \Pi &\Rightarrow f_8.
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

Сравним микропрограммы (4), (5а), и (5б). Оказывается, что если вычисление f_L проводится в два приема, микропрограмма (4) дополняется не влияющими на результат операциями F , $x \rightarrow \Pi$, F и $\Pi\Pi$, а микропрограмма (5а) аналогично дополняется операциями F и $\Pi\Pi$, то для вычисления f_0 и f_L можно пользоваться одной и той же микропрограммой $\Pi\Pi$ с учетом обозначений, которые приняты в операциях, отображенных в таблице. f_0 вычисляется в один прием, f_L - в два приема; отличие в вычислениях заключается в последовательности вывода содержимого регистров счетчика фотонов и операции, выполняемой тактом $T26$. Для включения операций f_4 или f_8 следует предусмотреть сигнал подпрограммы 6 .

Сравнение микропрограмм (6а) и (6б) с предыдущими выявляет удовлетворительное совпадение. При условии реализации этих микропрограмм в два приема (имеется хорошее совпадение с процедурой измерения, выполняемой также в два приема) можно произвести окончательное распределение тактов и написать микропрограмму вычисления оптической плотности в виде $\Pi 2$ (см. таблицу).

Последовательность тактов $T1 - T28$ вырабатывается регистром сдвига $D5 - D8$ и счетчиком $D9$ (рис. 3). Вентили $D1.2$ и $D13$ устанавливают схему в исходное состояние после включения источников питания. Сигнал начала ввода запоминается триггером $D2.1$. Первый такт $T1$ начинается импульсом $P1$ микрокалькулятора, записывающим логическую "1" с

выхода триггера $D2.1$ в регистр сдвига. Запись "I" в регистр сдвига, в свою очередь, приводит к обратному переключению триггера $D2.1$, чем обеспечивается запись в регистр только одной "I". Триггер $D2.2$ осуществляет пропуск каждого второго импульса $P1$. Счетчик $D9$, формирующий адреса $A1-A3$ тетрад, считываемых с регистров счетчика фотонов чисел, заблокирован сигналом установки нуля через вентили $D4.1$ и $D4.2$. В начале пятого такта логическая "I" на выходе $Q1$ микросхемы $D6$ снимает сигнал установки нуля счетчика $D9$ и через $D10.1$ вырабатывает признак ввода числа. В то же время триггер $D11.2$, $D11.3$, блокирующий счетный вход регистра сдвига, переключается в состояние $A = 0$. Сдвиг в регистре прекращается. После ввода всех восьми разрядов числа, т.е. после того, когда счетчик $D9$ из состояния 000 переходит в состояние III, возвращающее триггер $D11.2$, $D11.3$ в состояние $A = I$, вновь разрешается сдвиг в регистре. В четырнадцатом такте аналогично начинается ввод второго восьмиразрядного числа. После $T28$ вырабатывается сигнал конца микропрограммы.

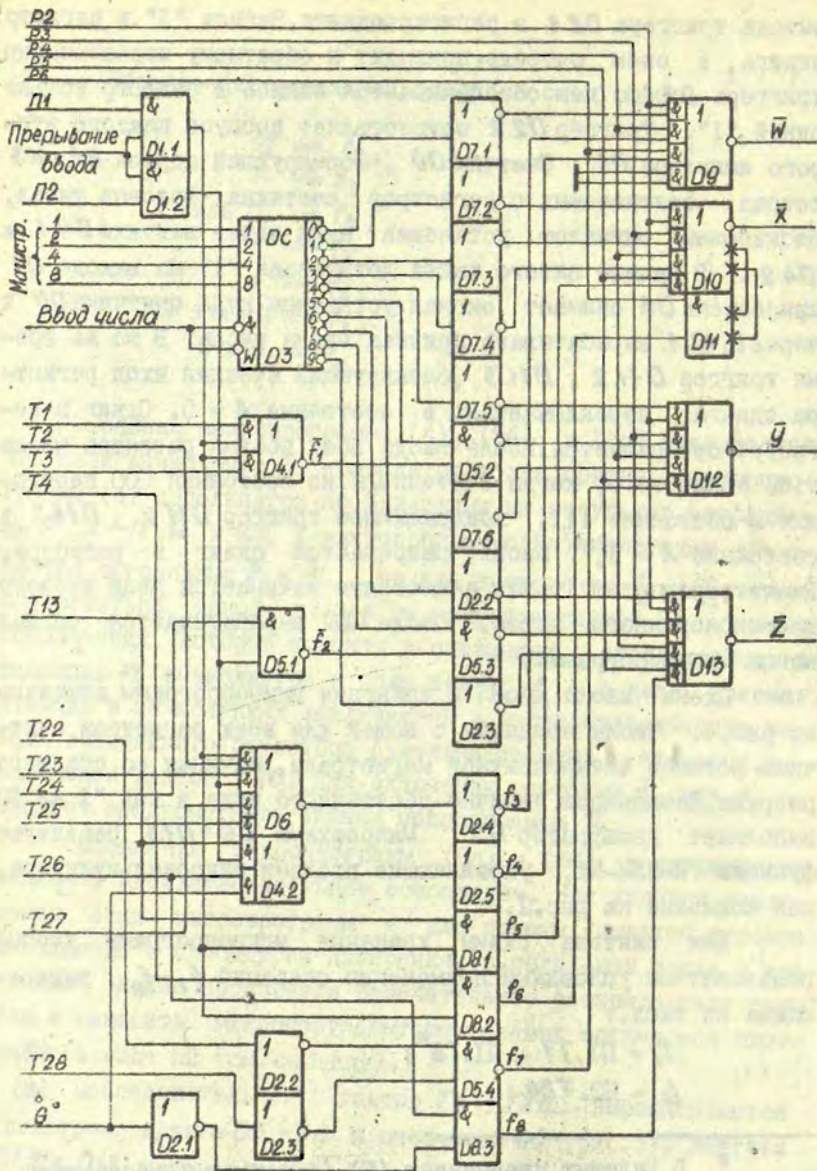
Схема ввода чисел и хранения микропрограмм показана на рис.4. Числа вводятся с общей для всех регистров счетчика фотонов четырехбитной магистрали, начиная со старшего разряда. Дешифрацию двоично-десятичного кода в код "I" из Ю⁹ выполняет дешифратор $D3$. Микросхемы $D9-D13$ реализуют функции И-ИЛИ-НЕ, управляющие входами микрокалькулятора, как показано на рис.1.

Для синтеза схемы хранения микропрограмм удобно пользоваться условиями применения операций f_1, f_2 , вытекающими из табл.:

$$f_1 = \Pi 1.T1 + \Pi 1.T3^* ; \quad (7)$$

$$f_2 = \Pi 2.T24 ; \quad (8)$$

* В Булевых уравнениях (7)-(19) знак \cdot обозначает логическое "И", а знак $+$ обозначает соответственно логическое "ИЛИ".



Р и с. 4. Схема ввода чисел и хранения микропрограмм.

Все микросхемы серий: D1 и D8 - ЛН1; D2 и D7 - ЛН1;
 D3 - ЛН3; D4 - ЛР1; D5 - ЛБ3; D6, D9, D10, D12 и D13 - ЛР3;
 D11 - ЛН1.

$$f_3 = \Pi_1.T2 + \Pi_2.T23 + T25 + T27; \quad (9)$$

$$f_4 = G.T26 + \Pi_2.T13; \quad (10)$$

$$f_5 = \Pi_1.T13; \quad (11)$$

$$f_6 = \Pi_1.T_4; \quad (12)$$

$$f_7 = T22 + T28; \quad (13)$$

$$f_8 = \bar{G}.T26. \quad (14)$$

Для поразрядного вывода на общую четырехбитную магистраль содержания любого из трех регистров на печатных платах регистров дополнительно устанавливаются четыре мультиплексора $D1-D4$ (на рис.5 показан только один из мультиплексоров, коммутирующий входы "8" кода I-2-4-8) и четыре схемы И-НЕ со свободными коллекторами $D5$. Выходы одинакового веса ("8" на рис.5) всех трех регистров объединены по схеме "Монтажное ИЛИ" в общую магистральную шину.

Схемы выбора выводимых регистров и выбора микропрограмм приведены на рис.6. Их синтез следует из уравнений (15)-(19), вытекающих из табл.

$$T_n = \Pi_1(T5...T12); \quad (15)$$

$$N_D = f_D(T14...T21) + f_L \cdot G(T14...T21) + \Pi_2(T14...T21); \quad (16)$$

$$N_{L+D} = f_L \cdot \bar{G}(T14...T21) + \Pi_2(T5...T12). \quad (17)$$

Эти уравнения выражают условия, при которых содержимое данного регистра вводится в калькулятор.

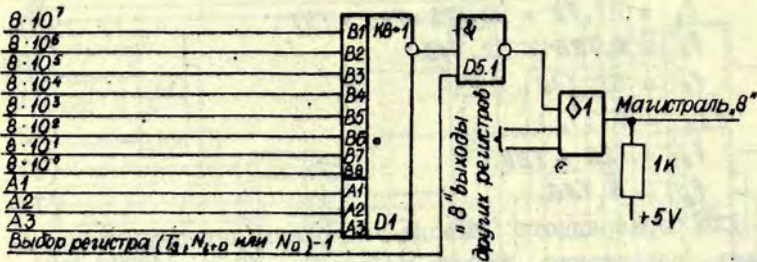
Условия применимости микропрограмм:

$$\Pi_1 = f_D + f_L, \quad (18)$$

$$\Pi_2 = D. \quad (19)$$

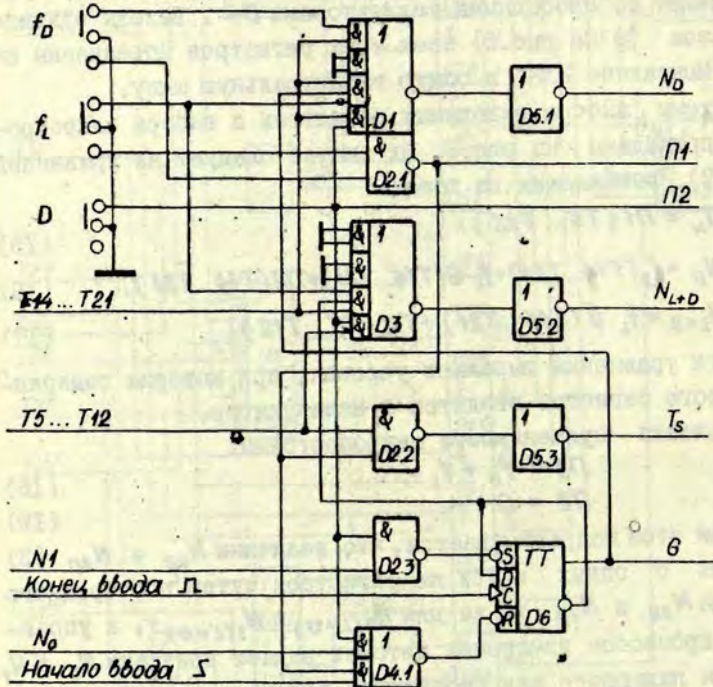
При этом подразумевается, что величины N_{0D} и N_{1D} (3) снимаются с одних и тех же регистров путем поочередного измерения N_{0D} и N_{1D} (то же для $N_{0(L+D)}$ и $N_{1(L+D)}$), а управляющий процессом измерения автомат выдает признаки N_0 и N_1 измерения падающего или прошедшего потока света. Последние в режиме вычисления используются для выработки сигнала G .

Описанную схему легко приспособить для обработки результатов целого ряда других физических измерений. Без существенного усложнения она применена нами в счетчике фото-



Р и с. 5. Схема коммутации одной из 4-х линий магистрали. Все микросхемы серии К 155: **D1-D4** - КП5; **D5** - ЛБ3.

ВЫЧИСЛЕНИЕ



Р и с. 6. Схема выбора выводимого регистра и микропрограммы.

Все микросхемы серии К 155: **D1, D3** - ЛР3, **D2** - ЛБ3, **D4** - ЛР1, **D5** - ЛН1, **D6** - ТМ2.

нов для вычисления не только f_D , f_L и D , но и оптического пропускания, а также среднеквадратичной ошибки измерения. Подобная программа разработана и для шаговой развертки монохроматора, задаваемой в нанометрах, электрон-вольтах или обратных сантиметрах.

Повышение сложности вычислений отражается на числе необходимых тактов микропрограммы, что в итоге приводит не только к более длинному регистру сдвига, но, что более существенно, к увеличению времени вычисления. Последнее определяется числом тактов и временем выполнения операций. Общее время 28 тактов приблизительно равно 0,2 секунды, что все еще значительно меньше времени выполнения таких операций, как логарифмирование, извлечение квадратного корня и т.д.

Увеличение числа микропрограмм требует расширения схемы хранения микропрограмм. При этом может оказаться целесообразным построение этой части схемы на мультиплексо-рах или программируемых матрицах, в частности типа К1ЯМ391.

Конструктивно тактовый генератор, схема ввода чисел и хранение пяти программ размещаются на печатной плате размером 178x230 мм². На второй плате размещаются 6 преобразователей уровней МОП в ТТЛ и 4 преобразователя уровней ТТЛ в МОП. Число первых значительно (до 17) возрастает, когда вместо ИВ-21 используется другой, большой по размерам индикатор с соответственно большими токами потребления и когда необходим ввод результатов вычислений в измерительный прибор. В последнем случае следует решить вопрос ввода запятой в измерительный прибор и преобразования последовательного во времени семисегментного кода в код измерительного прибора. Но это приводит к определенному усложнению принципиальных схем.

Как видно, простая обработка результатов измерений не требует сложной аппаратной реализации. Достижимая при этом скорость обработки результатов допускает применение калькулятора "Электроника БЗ.18А" в тех случаях, когда пе-

риод повторения измерений составляет не менее 3-5 секунд, т.е. практически во всех случаях, когда считывание результатов производится оператором по цифровому индикатору.

ЛИТЕРАТУРА

1. Skytte Kurt. Incorporate a Calculator Chip [instead of a microprocessor, into your number-processing data system...]. - *Electronic Design*, 1976, vol.24, No.1, p.96-99.
2. Hummer Ch.R., Burns D.J. Interface for a Hand Calculator and a Digital Power Supply. - *Rev.Sci.Instrum.*, 1976, vol.47, No.8, p.921-923.
3. Grüter H. Taschenrechner als digital anzeigendes Strahlungsmessgerät.- *Elektronik*, 1976, Bd.25, H. 12, S. 65-66.
4. Каталог фирмы Princeton Applied Research. "Photon Counting", p.16-20.
5. "Электроника БЭ.18А". Руководство по эксплуатации.

Статья поступила 21 декабря 1977 года.

Э.Э.Тарденак
НИИ ФТТ ЛГУ им.Петра Стучки

О РЕГИСТРАЦИИ МНОГОРАЗЯДНОЙ ГРАФИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

На примере счетчика фотонов рассматривается сопряжение многоразрядного цифрового измерительного прибора (ЦИП) с малоразрядным цифро-аналоговым преобразователем (ЦАП), существенное в случае графической регистрации результатов измерения ЦИП. Приведены принципиальные схемы, реализующие автоматический вывод на ЦАП трех старших значащих десятичных разрядов или ручной выбор любых трех по порядку разрядов. Разработаны схемы для параллельного и параллельно-последовательного вариантов представления информации на выходе ЦИП. Схемы рассчитаны на работу с интегральным или гибридным двоичным ЦАП.

С проблемой организации аналогового выхода многоразрядного цифрового измерительного прибора (ЦИП) системные инженеры, разработчики и пользователи цифровой аппаратуры встречаются, когда требуется графическая регистрация результата измерения, осуществленного, например, счетчиком фотонов. Разрешающая способность используемых для регистрации самопишущих приборов бывает от 1:200 до 1:1000, т.е. они пригодны для отображения не более 2-3 десятичных разрядов цифровой информации. Такой же разрешающей способностью обладают интегральные и гибридные цифро-аналоговые преобразователи (ЦАП). Однако используемый нами счетчик фотонов имеет 8 десятичных разрядов; некоторые ЦИП имеют еще большую разрядность.

В такой ситуации графическое отображение всех десятичных разрядов результата не только невозможно, но в условиях счета фотонов даже излишне, так как основную информацию несут только старшие значащие разряды результата. Отсюда вытекает необходимость решить задачу выбора и вывода разрядов, несущих информацию об исследуемом процессе.

На практике может потребоваться, чтобы выбор этих разрядов осуществлялся или оператором, или по команде управляющей вычислительной машины, а также автоматически. Первые два случая аналогичны и позволяют выводить содержимое любых трех следующих по порядку десятичных разрядов. Это существенно, когда в результате, состоящем из большой постоянной компоненты и малой переменной компоненты, полезную информацию несет последняя. В автоматическом режиме выбираются три старших значащих разряда результата текущего измерения.

В дальнейшем описании электронных схем, реализующих сопряжение приборов разной разрядности, принято, что цифровой код на кодовых шинах прибора представлен в уровнях микросхем семейства ТТЛ, поэтому вопросы согласования логических уровней ЦАП и представленных схем не рассматриваются.

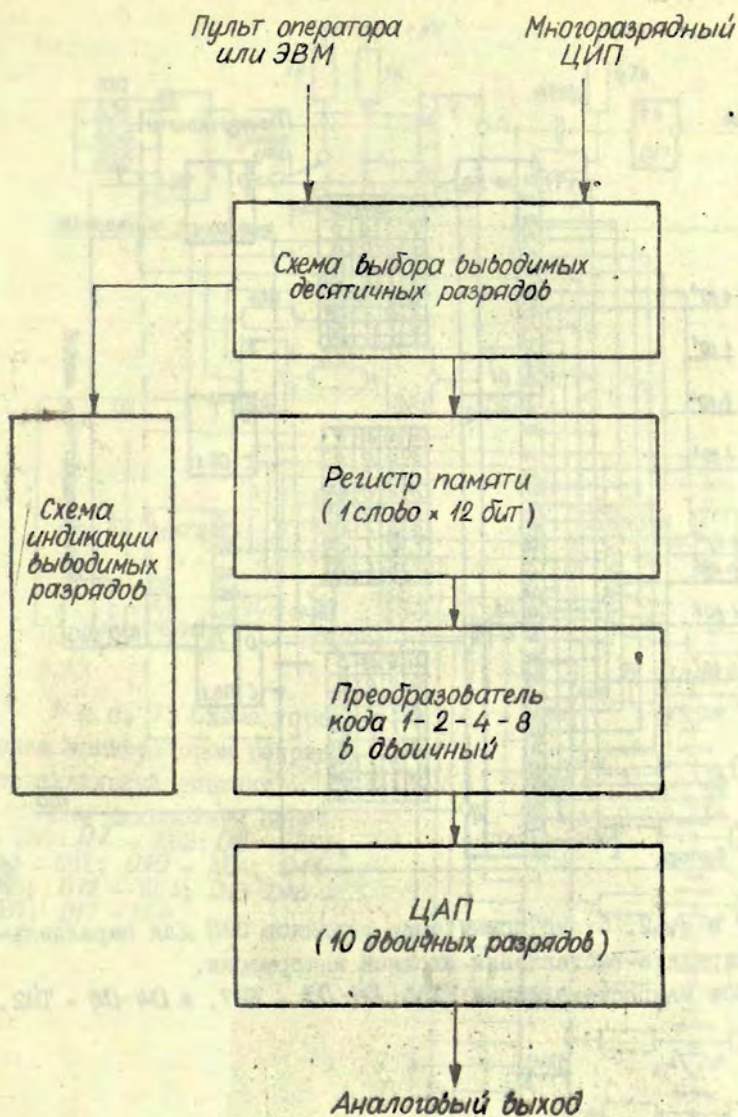
К некоторому усложнению принципиальной схемы приводит применение ЦАП в микросхемном исполнении. Последний обычно работает в двоичном коде. Включение такого ЦАП для работы в двоично-десятичном коде ЦАП не всегда возможно, к тому же оно приводит к неполному использованию его разрешающей способности. Поэтому в электронную схему следует ввести преобразователь кодов.

Не все измерительные приборы имеют встроенный буферный регистр хранения результата измерения. Чтобы исключить регистрацию промежуточного процесса накопления информации в ЦАП, такой регистр следует ставить перед ЦАП.

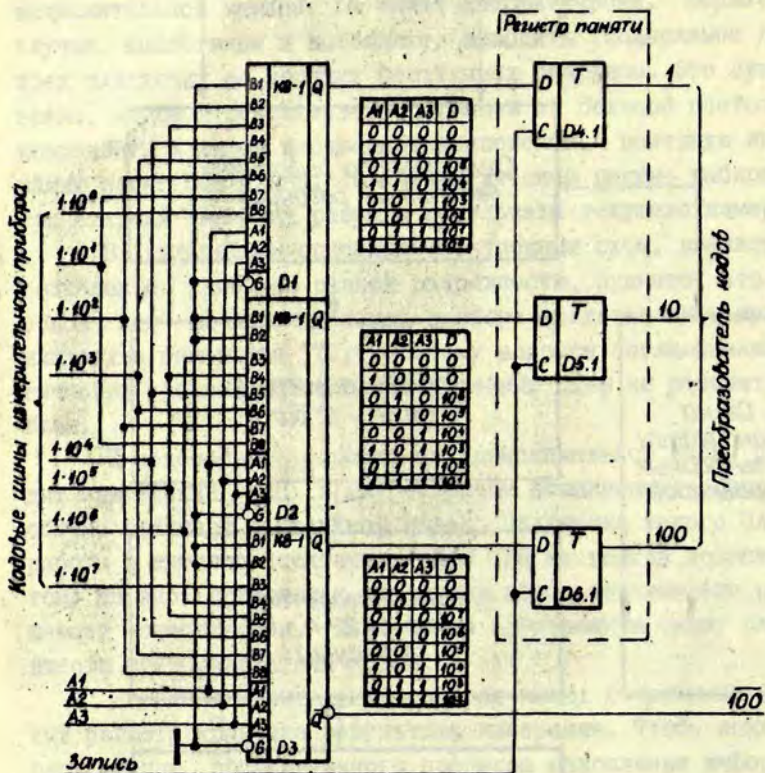
В итоге получаем функциональную схему, изображенную на рис. I.

Наиболее часты два варианта представления информации на выходе ЦАП: параллельный вариант, когда результат измерения в виде n -разрядного двоично-десятичного кода одновременно выставляется на $4n$ -кодовых шинах прибора, и последовательный, когда десятичные разряды поочередно во времени выставляются на четырех магистральных шинах ЦАП.

Принципиальные схемы, реализующие выбор выводимых разрядов, для обоих вариантов различны. Схема параллельно-

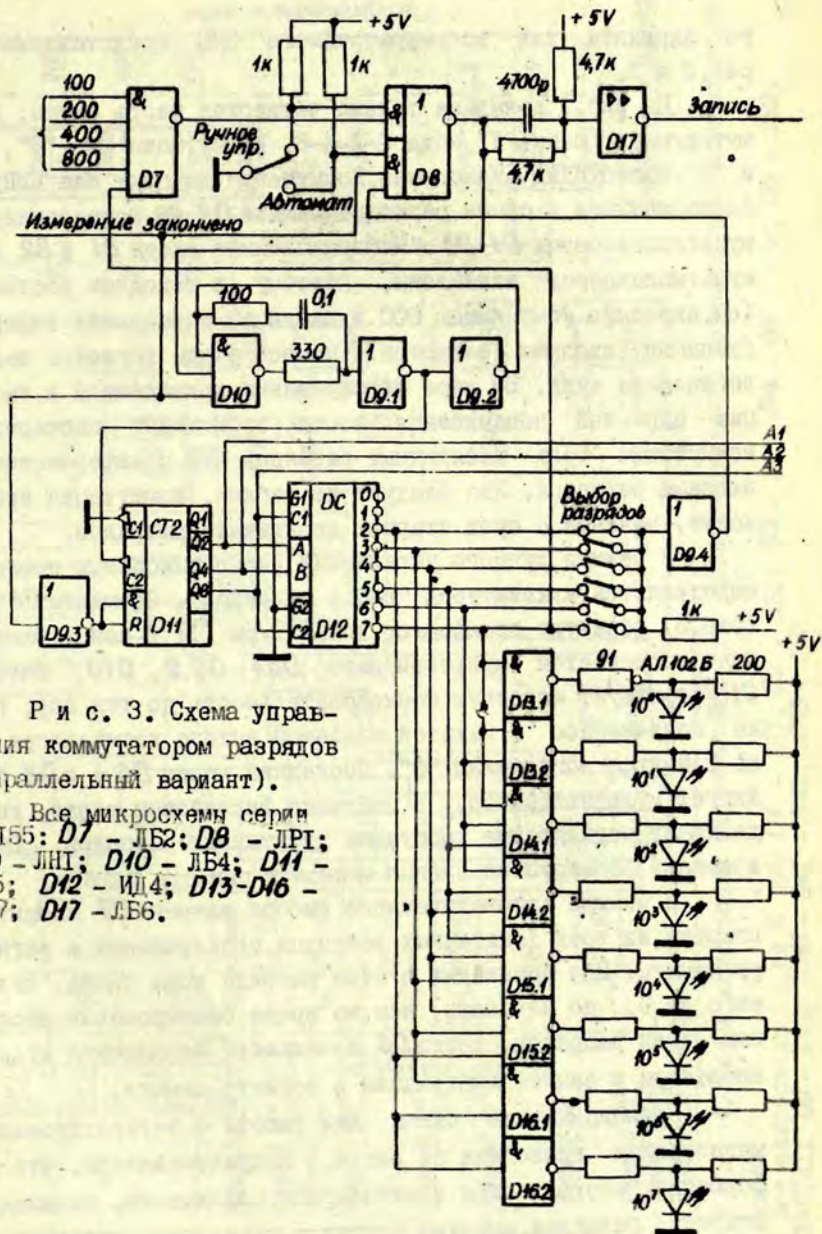


Р и с. 1. Функциональная схема устройства, сопрягающего приборы разной разрядности.



Р и с. 2. Схема коммутации разрядов ЦИП для параллельного варианта выставления входной информации.

Все микросхемы серии К155: D1-D3 - К17, а D4-D6 - ТМ2.



Р и с. 3. Схема управления коммутатором разрядов (параллельный вариант).

Все микросхемы серии К 155: D7 - ЛБ2; D8 - ЛР1; D9 - ЛН1; D10 - ЛБ4; D11 - ИБ5; D12 - ИД4; D13-D16 - ЛБ7; D17 - ЛБ6.

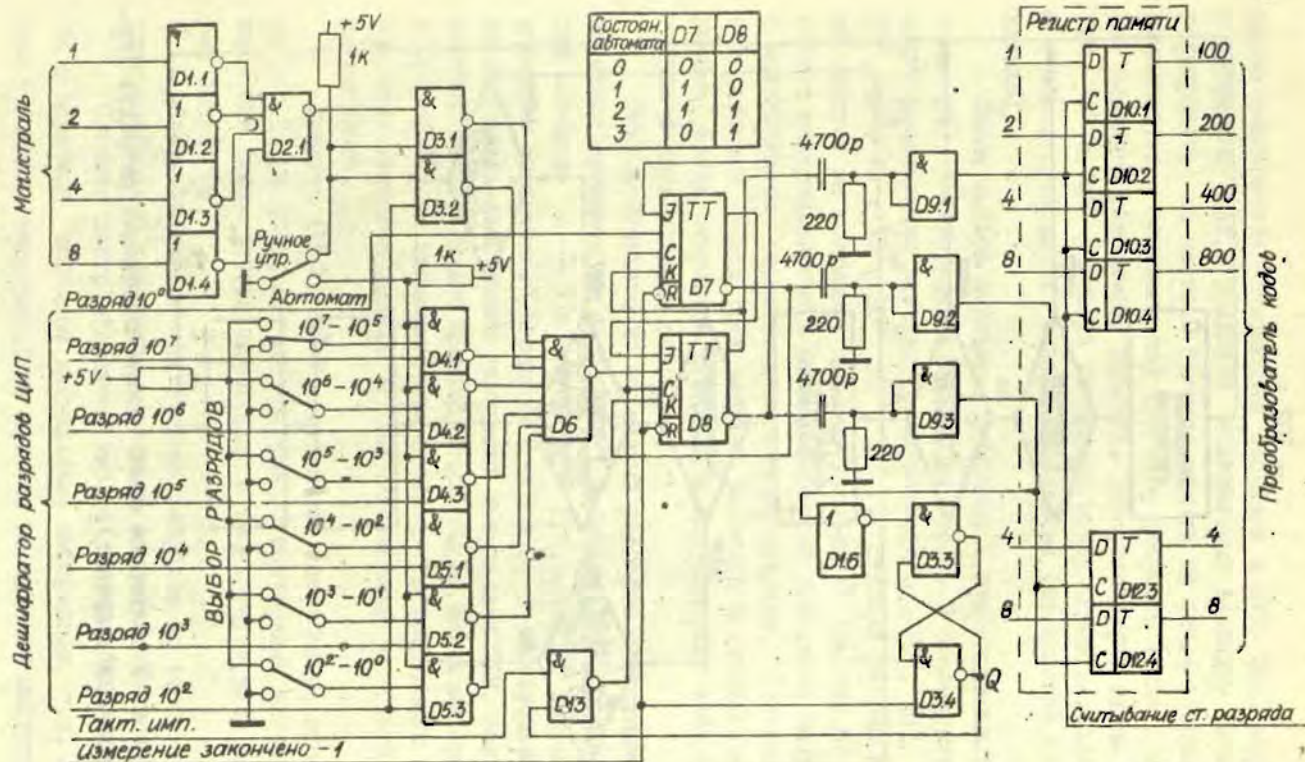
го варианта для восьмиразрядного ЦИП представлена на рис.2 и 3.

На рис.2 показана только четвертая часть схемы, коммутирующая шины "1" кода 1-2-4-8. Коммутация шин "2", "4" и "8" происходит аналогично. Коммутация кодовых шин ЦИП с информационными входами регистра памяти *D4-D6* осуществляется мультиплексорами *D1-D3*. Информационные входы *B1* и *B2* всех мультиплексооров заземлены, поэтому в исходном состоянии (см. адресную комбинацию 000 в таблицах управления информационными входами регистра) на все входы регистра поданы логические нули. По мере формирования приведенной в таблицах адресной последовательности происходит посочередная коммутация трех десятичных разрядов ЦИП с информационными входами регистра. Как следует из таблиц, коммутация происходит, начиная с трех старших десятичных разрядов.

В режиме ручного управления выбор выводимых порядков определяется клавиатурой "Выбор разрядов". Элементы *D8-D12* (рис.3) образуют дешифратор клавиатуры [1]. В конце измерения запускается мультивибратор *D9.1, D9.2, D10* счетчик *D11* формирует адресную последовательность до тех пор, пока на соединенном с намотой клавишей выходе дешифратора *D12* не появится логический "0". Последний через *D9.4* и *D8* блокирует мультивибратор, в счетчике фиксирован адрес, определяющий подключение требуемых десятичных разрядов. Одновременно формируется сигнал записи в регистр памяти.

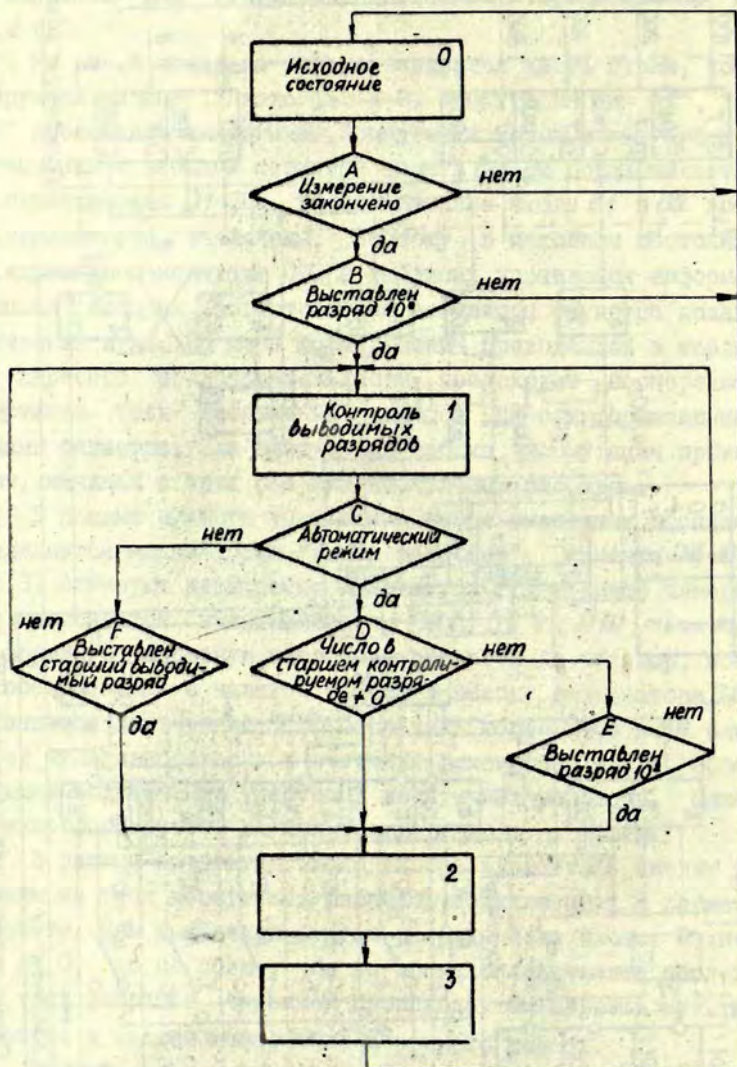
В режиме автоматического выбора элемент *D7* следит за старшим из трех десятичных разрядов, подключенных к регистру памяти. При появлении в этом разряде кода числа, отличного от 0, но не позже, чем во время сканирования последних трех разрядов, через *D8* происходит блокировка мультивибратора и запись информации в регистр памяти.

Принципиальная схема для работы с четырехпроводной магистралью приведена на рис.4. Подразумевается, что информация выставляется в магистрали циклически, начиная со старших разрядов, имеется доступ к генератору тактовых импульсов, управляющему коммутацией магистрали, и к вы-



Р и с. 4. Схема коммутации разрядов ЦИП для последовательного варианта выставления входной информации.

Все микросхемы серии К 155: D1 - ДН1; D2 - ЛБ1; D3 - ЛВ3; D4 - D5 - ЛБ4; D6 - ЛБ2; D7-D8 - ТК1; D9 - ЛИ1; D10 - D12 - ТМ2; D13 - ЛБ3.



Р и с. 5. Алгоритм схемы выбора выводимых разрядов (последовательный вариант).

ходам дешифратора считывания разрядов в ЦИП. Если доступа к последнему нет, признаки считываемых разрядов несложно формировать на месте. Регистр памяти на рис.4 изображен неполностью - показаны все триггеры старшего и два триггера младшего выводимого разряда. Информационные входы "1", "2", "4" и "8" регистра соединены между собой параллельно и с соответствующими шинами магистрали (соединение не показано).

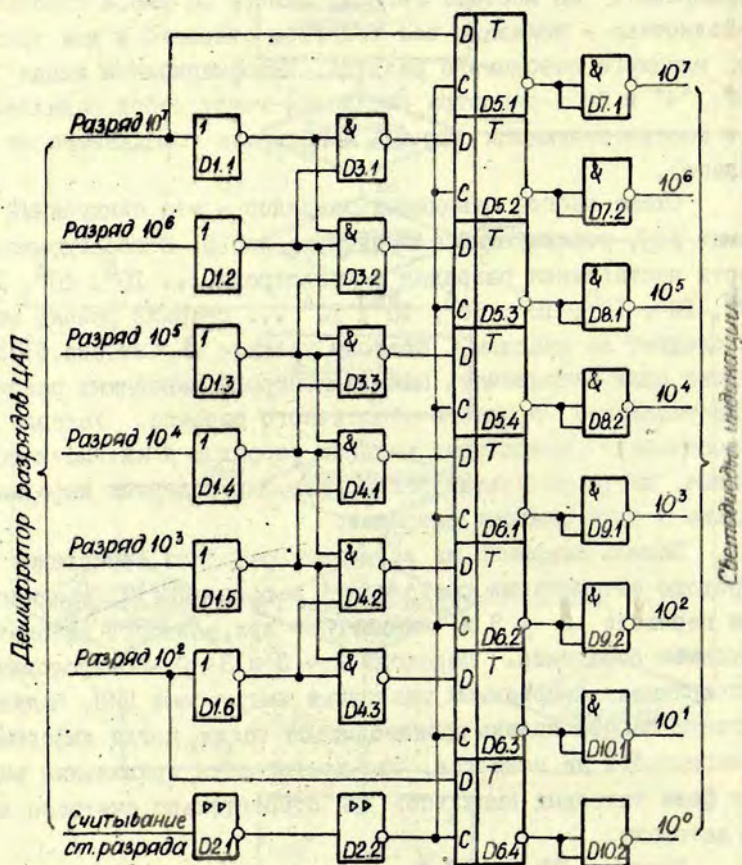
Схема выбора выводимых разрядов - это синхронный автомат [2], реализующий алгоритм из рис.5. В последовательности выставления разрядов в магистрали ... 10^5 , 10^4 , 10^3 , 10^2 , 10^1 , 10^0 , 10^7 , 10^6 , 10^5 , 10^4 ... старший разряд всегда следует за младшим, поэтому условие B (см.рис.5) позволяет синхронизировать начало контроля выводимых разрядов с выставлением старшего десятичного разряда. Условие E обеспечивает вывод трех младших разрядов в автоматическом режиме, когда результат равен нулю или содержит информацию только в двух младших разрядах.

Запись старшего из выводимых разрядов происходит при переходе автомата из состояния 1 в состояние 2, среднего - при переходе 2 \rightarrow 3 и младшего - при возврате автомата в исходное состояние. Переходы 2 \rightarrow 3 и 3 \rightarrow 0 - безусловные и выполняются очередными тактовыми импульсами ЦИП. Запись в регистр памяти должна производиться тогда, когда информация в магистрали не меняется. Это достигается правильным выбором фазы тактовых импульсов ЦИП относительно счетного входа автомата.

Триггер $D3.3 - D3.4$, действие которого не отражено на рис.5, не допускает многократного повторения алгоритма, так как после одного цикла записи блокируется вход тактовых импульсов.

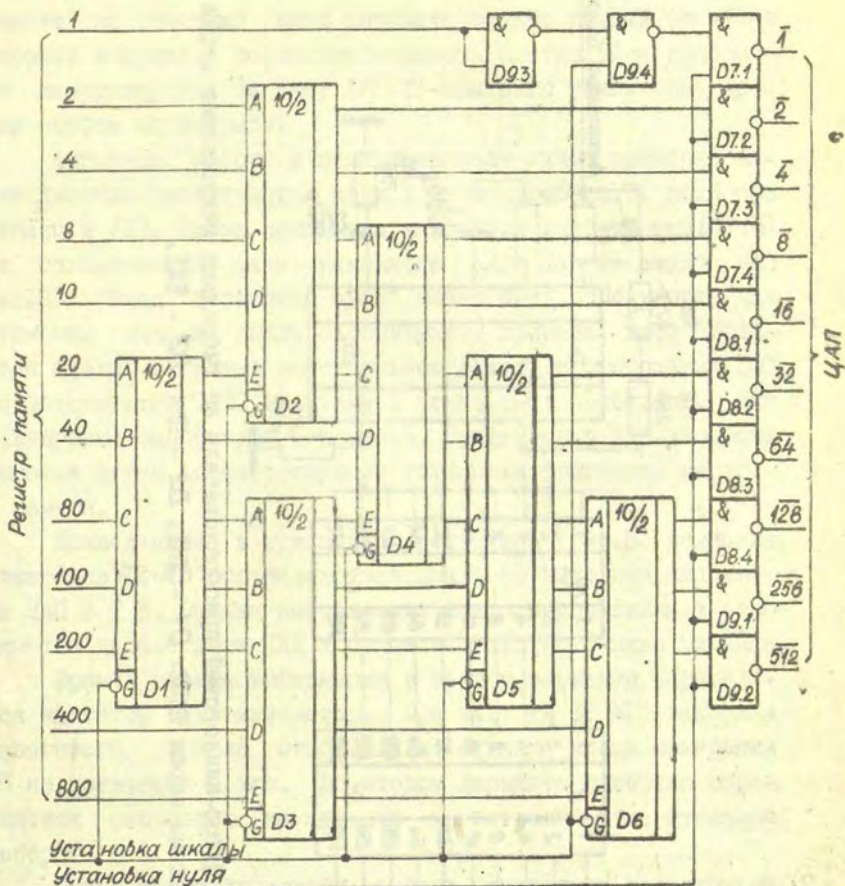
Схему индикации включенных разрядов во втором варианте необходимо дополнить регистром памяти согласно рис.6.

Сложнее построить схему выбора разрядов для магистрали с обратным порядком выставления информации, т.е. начиная с младших разрядов. Если частота коммутации магистрали



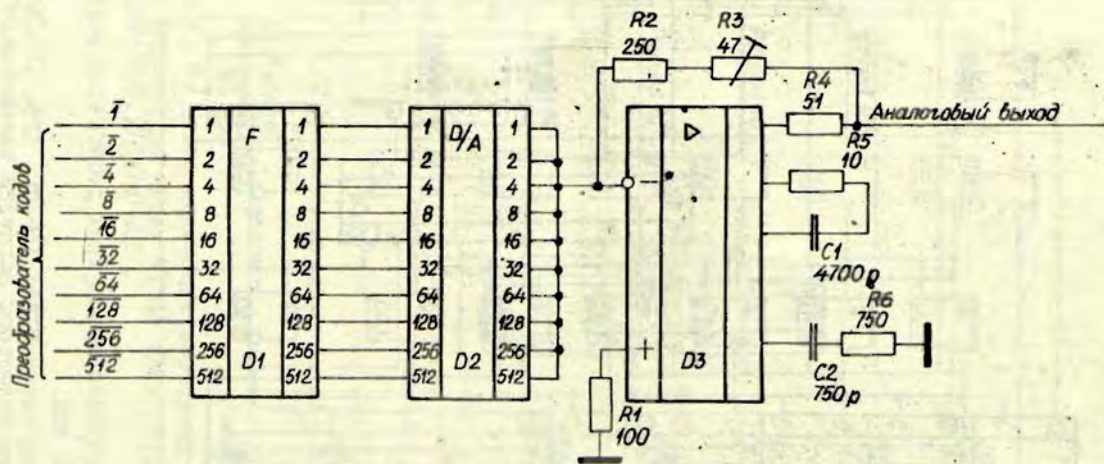
Р и с. 6. Схема индикации выводимых разрядов.

Все микросхемы серии К155: D1 - ЛН1; D2 - ЛБ6; D3-D4 - ЛБ4, D5-D6 - ТМ5, D7-D10 - ЛБ7.



Р и с. 7. Преобразователь трех десятичных разрядов кода I-2-4-8 в двоичный код.

Все микросхемы серии К155: D1-D6 - ПР6; D7-D9 - ЛБ3.
В схеме не показаны резисторы нагрузки элементов D1-D6.



Р и с. 8. Цифро-аналоговый преобразователь на гибридных микросхемах серии К252.
 Все микросхемы серии К252: **D1** - ПНИ; **D2** - ЦИ4; **D3** - ЖА1.

достаточно высока, возможна инверсия порядка выставления информации путем дополнения принципиальной схемы счетчиком с коэффициентом пересчета $n-1$, где n - число тактовых импульсов за полный цикл передачи информации. Счетчик допускает на счетный вход автомата только каждый $(n-1)$ -й тактовый импульс, последовательность выставления информации инвертируется за счет $(n-1)$ -кратного увеличения времени опроса магистрали.

Алгоритм работы и принципиальная схема преобразователя двоично-десятичного кода в двоичный (рис.7) подробно описаны в [3]. Схема дополнена выходными инверторами $D7-D9$ для согласования фазы выходного сигнала со входом ЦАП (рис.8). Вход "Установка нуля" может быть использован для установки начала шкалы самопишущего прибора, вход "Установка шкалы" включает максимальное выходное напряжение ЦАП, соответствующее 1023 квантам, и может быть использован для градуировки самопишущего прибора. Градуировка 999 квантами возможна путем соответствующей установки триггеров регистра памяти.

Приведенные в принципиальной схеме (рис.8) номиналы резисторов $R2-R3$ определяют максимальное выходное напряжение ЦАП в I В. Ошибка выставления аналогового сигнала определяется параметрами ЦАП и стабильностью источника питания.

Время вывода информации в первом варианте определяется частотой мультивибратора. При частоте 10 МГц задержка аналогового сигнала относительно сигнала конца измерения ЦАП не превышает 1 мкс. Во втором варианте задержка определяется скоростью коммутации магистрали измерительным прибором.

Схема автоматического выбора выводимых разрядов не обладает гистерезисом, поэтому в случае, когда результаты измерения имеют разброс, превышающий пределы разряда, например, 959, 1005, 973 ..., следует перейти на режим ручного вывода выводимых разрядов.

Рассмотренные схемы без ЦАП на выходе могут найти применение и для согласования многоразрядных ЦИП с малоразрядными приемниками цифровой информации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Alfke P. Need a small keyboard? - Electronic Design, 1975, vol.23, No.2, p.56-58.
2. Bentley J.H. The foolproof way to sequencer design, - Electronic Design, 1973, vol.21, No.10, p.76-81.
3. Bürgel E. Schnelle Zahlenumsetzer mit MSI-TTL-Schaltungen. - Elektronik, 1975, Bd.24, H.11, S.95-98.

Статья поступила 23 ноября 1977 года.

И.А.Гужа
НИИ ФТТ ЛГУ им.Петра Стучки

СВЯЗЬ М-6000 С ВОЛЬТАМПЕРМЕТРОМ ВК2-20 И МОНОХРОМАТОРОМ

Приведены и описаны структурные и принципиальные схемы интерфейсных блоков связи УВК М-6000 с цифровым вольтамперметром ВК2-20 и монохроматором. Рассмотрена возможность повышения стабильности показаний ВК2-20. Дано руководство по программированию интерфейсных блоков.

Осуществление связи М-6000 с ВК2-20

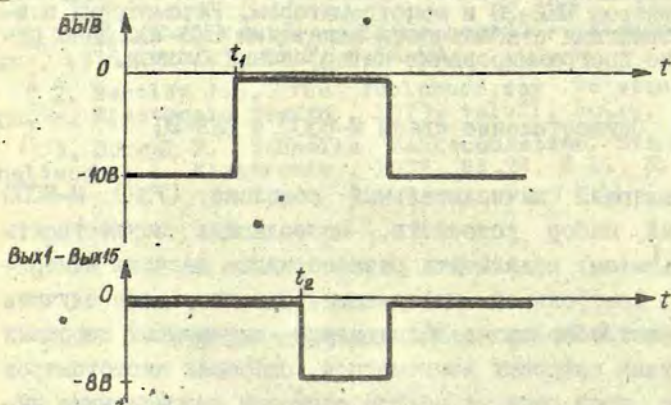
Управляющий вычислительный комплекс (УВК) М-6000 имеет целый набор устройств, позволяющих осуществлять связь с объектом: подключать разнообразные датчики измерительной и контрольной информации. Однако в ряде случаев возникает потребность в подключении автономных цифровых приборов типа цифровых вольтметров, цифровых частотомеров и т.п. Для этой цели не всегда пригодны промышленные интерфейсные блоки, входящие в номенклатуру М-6000. В частности, такой популярный прибор, как цифровой вольтамперметр ВК2-20 [1,2], не может быть подключен непосредственно к М-6000, так как на выходном разъеме прибора информация появляется в виде импульсов длительностью около 2 мкс. Самые близкие по своему назначению модули МВДИ [3] и МПЦИП [4] непригодны для приема такого рода информации: они не имеют буферного регистра и могут принять лишь информацию, представленную в виде потенциалов.

Нами был разработан интерфейсный блок, позволяющий подключать цифровой вольтамперметр ВК2-20 к УВК М-6000 через стандартное сопряжение 2К [5, с.139-163] и через такие блоки как модуль группового управления вводом дискретной информации и разветвитель связи с объектом.

Цифровой вольтамперметр ВК2-20 имеет следующие выходы на внешний разъем "К РЕГИСТРАТОРУ":^o

- выходы информационных сигналов Вых1-Вых15, на которых появляются импульсы с амплитудой 8 ± 2 В отрицательной полярности длительностью 2 мкс, передающие единицы информации (рис.1);

- выход стробирующего сигнала $\overline{ВВ}$, который является положительным импульсом относительно уровня -10 В (рис.1).



Р и с. 1. Временная диаграмма сигналов $\overline{ВВ}$ и Вых1-Вых15.

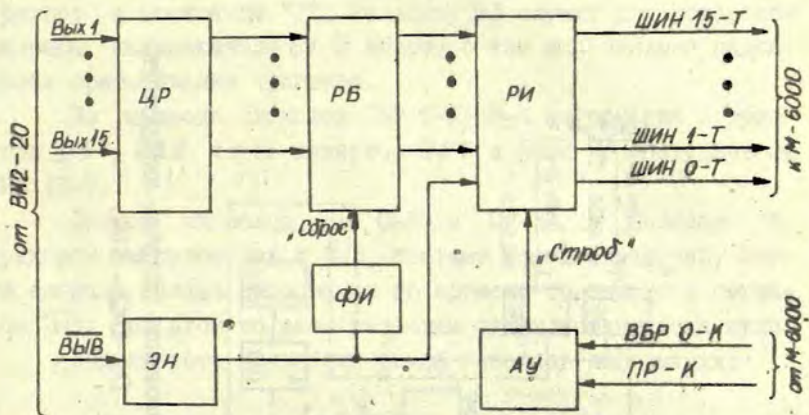
Сигнал $\overline{ВВ}$ появляется на выходе с частотой, равной половине частоты сети, т.е. 25 Гц. Сигнал Вых появляется синхронно с $\overline{ВВ}$ (см.рис.1), если соответствующий разряд равен единице в данном цикле измерений. В противном случае на выходе прибора импульс не появляется и напряжение на шине Вых постоянно и близко к 0 вольт (остаточное напряжение насыщенного транзистора $p-n-p$).

Для подключения вольтамперметра ВК2-20 к УВК М-6000 необходимо указанные импульсы преобразовать в потенциалы и привести к уровню "ЛОГИКА-2", т.е. должно соблюдаться соответствие:

логический нуль ("0") - от 0 до 0,4 В;
логическая единица ("1") - от 2,4 до 4,4 В.

Структурная схема разработанного блока показана на

рис.2.



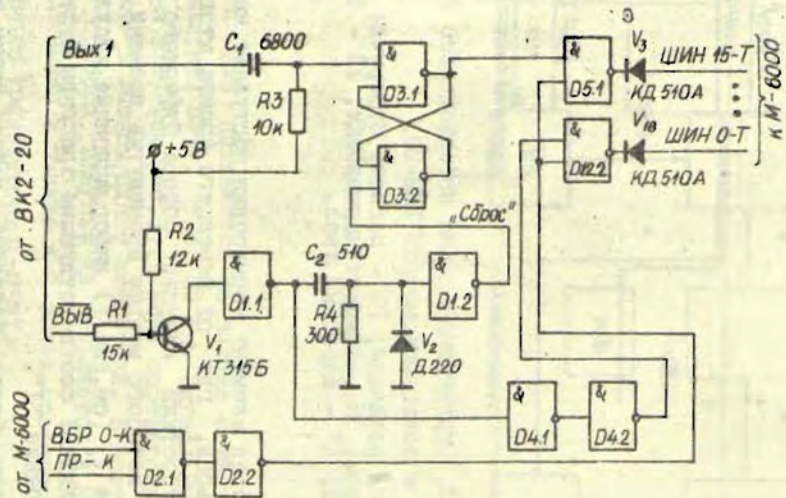
Р и с. 2. Структурная схема интерфейсного блока связи УВК М-6000 с вольтамперметром ВК2-20.

ЦР - цепи развязки; РБ - регистр буферный; РИ - регистр инверторов; ЭН - элемент нормировки; ФИ - формирователь импульсов; АУ - адресный узел.

Сигнал $\overline{ВВВ}$ через элемент нормировки поступает на формирователь импульсов, где от переднего фронта этого сигнала формируется короткий импульс сброса буферного регистра, длительность которого меньше промежутка времени $t_2 - t_1$. В момент времени t_2 (см.рис.1) информационные импульсы Вых1-Вых15 устанавливают соответствующие триггеры буферного регистра в состояние "1".

Рассмотрим более подробно работу схемы на примере цепи формирования одного разряда информации (рис.3):

Стробующий сигнал $\overline{ВВВ}$ проходит через элемент нормировки $R1, R2, V1$, инвертор $D11$, дифференцирующую цепочку $C2, R4$ и инвертор $D12$. Полученный импульс "Сброс" поступа-



Р и с. 3. Принципиальная схема цепи формирования разряда информации.
 Все микросхемы серии К155: D1-D4 - ЛБ3; D5-D12 - ЛБ6.

ет на триггер $D3.1, D3.2$ и сбрасывает его в состояние "0". Если первый разряд вольтамперметра в рассматриваемом цикле измерения устанавливается в единицу, то в момент времени t_2 (см. рис. 1) появляется сигнал Вых I, который через разделительный конденсатор $C1$ устанавливает упомянутый триггер в состояние "1". Резистор $R3$ служит для ускорения разряда конденсатора $C1$ и вместе с тем для большей надежности срабатывания триггера.

По приходе сигналов ВЕР 0-К-ПР-К информация с триггера $D3.1, D3.2$ через инвертор $D5.1$ и диод $V3$ поступает на ШИН I5-Т.

Приход сигналов ВЕР 0-К и ПР-К не связан с приходом сигналов Вых и $\overline{\text{Выв}}$, поэтому возможен случай, когда сигналы приема информации по времени совпадают с сигналом $\overline{\text{Выв}}$. При этом по всем разрядам будут установлены нули.

Вероятность появления такой неверной информации:

$$P_{\text{н.и}} = \frac{t_2 - t_1}{T_{\text{изм}}},$$

где $t_2 - t_1$ - промежуток времени между начальными фронтами импульсов $\overline{\text{Выв}}$ и Вых, равный 1 мкс;

- период измерения, равный 1/25 с.

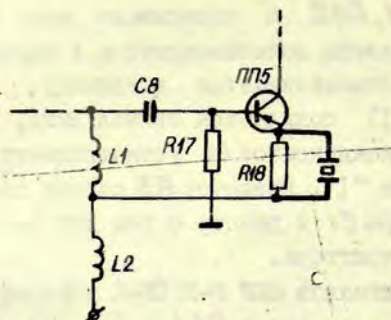
Численное значение вероятности появления неверной информации

$$P_{\text{н.и}} = \frac{1 \cdot 10^{-6}}{1/25} = 25 \cdot 10^{-6},$$

Другими словами, неверным будет одно из 40 000 измерений.

Для распознавания неверной информации, а также для индикации готовности ВК2-20 сигнал $\overline{\text{Выв}}$ через $V1, D1.1, D4.1, D4.2, D12.2$ передается по ШИН 0-Т в процессор.

Испытания показали, что сигнал ШИН 0-Т появляется в среднем при каждом 32-64-тысячном опросе, что хорошо совпадает с расчетной величиной. Кроме того, обнаружилась неустойчивость ВК2-20 в пределах 2-3 младших единиц измерения, что проявляло себя даже при замкнутом накоротко входе



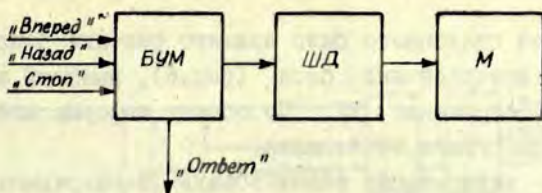
Р и с. 4. Схема включения кварцевого резонатора. Обозначения по схеме гД 2.2И.001 СхЭ [2].

прибора. Объяснить это можно следующим образом. В схеме вольтамперметра ВК2-20 имеется генератор тактовых импульсов, частота которого должна быть равной 250 кГц, т.е. за один период сети он должен дать 5000 импульсов. Используемый генератор имеет нестабильность порядка 10^{-3} . В результате количество импульсов отличается от числа 5000. На лампах индикации вольтамперметра это выражается как "плавание" последних 2-3 единиц младшего порядка. Для устранения этого недостатка генератор тактовых импульсов дополнен кварцевым резонатором с частотой резонанса 250 кГц. Измененная часть схемы показана на рис. 4.

Сопротивление резистора *R18* увеличено до 10 кОм для того, чтобы меньше шунтировать эквивалентный контур кварцевого резонатора. Стабильность работы генератора вольтамперметра по измененной схеме существенно повысилась.

Осуществление связи М-6000 с монохроматором

Задача автоматизации приборов такого типа, как монохроматор, зависит прежде всего от организации механического привода в них. В рассматриваемом монохроматоре привод осуществлен на основе шагового двигателя. Перемещениями



Р и с. 5. Схема управления монохроматором.

БУМ - блок управления монохроматором; ШД - шаговый двигатель; М - монохроматор.

шагового двигателя управляет блок управления монохроматором [6].

При подаче на блок управления монохроматором сигналов "Вперед" или "Назад" последний вырабатывает воздействие, перемещающее шаговый двигатель в соответствующую сторону, пока не будет подан сигнал "Стоп".

Каждый шаг двигателя сопровождается сигналом "Ответ" (положительный импульс с уровнями - 12 и 0 вольт, длительность импульса ~ 450 мкс, период следования ~ 5 мс).

Сигналы "Вперед", "Назад", "Стоп" могут подаваться на блок управления монохроматором либо вручную с пульта БУМ, либо от ЭВМ.

Простейший способ управления БУМ от УВК М-6000 состоит в следующем. Входы блока управления монохроматором подключаются к стандартному интерфейсному блоку МКУБ [7], а выход - к МВВДИ [3] либо МВВИС [8]. Подавая по программе через МКУБ сигнал "Вперед" ("Назад"), М-6000 опрашивает через МВВДИ выход "Ответ" и считает число поступивших импульсов. При достижении наперед заданного числа М-6000 снимает сигнал "Вперед" ("Назад") и выдает сигнал "Стоп", останавливающий привод монохроматора. Использование МВВИС позволяет осуществлять счет импульсов путем применения системы прерывания М-6000. Однако в любом случае требуются затраты оперативного запоминающего устройства М-6000, а при использовании МВВДИ возникают значительные потери времени на ожидание и счет сигналов "Ответ". В данной ситуации эти потери могут достигать десятков секунд (35 с при максимальном (7000) количестве шагов).

С учетом сказанного было принято решение разработать специальный интерфейсный блок (рис.6), имеющий выход на стандартное сопряжение ЗК. По обмену информацией должны соблюдаться следующие требования.

1. Для кодирования использовать 16-разрядные машинные слова.

2. Выдаваемое информационное слово должно содержать:
- в 0-м разряде признак направления вращения шагового двигателя;

- в I-15-разрядах код приращения (количество шагов шагового двигателя в двоичном коде).

3. Должна иметься возможность выдачи сигналов "Вперед" или "Назад" одновременно с выдачей информационного слова либо независимо от него.

4. При завершении отработки шаговым двигателем заданного кода приращения интерфейс должен снять с блока управления монохроматором сигналы "Вперед" и "Назад" и выдать сигнал "Стоп". В М-6000 при этом должен поступить сигнал ГТ 0-Т.

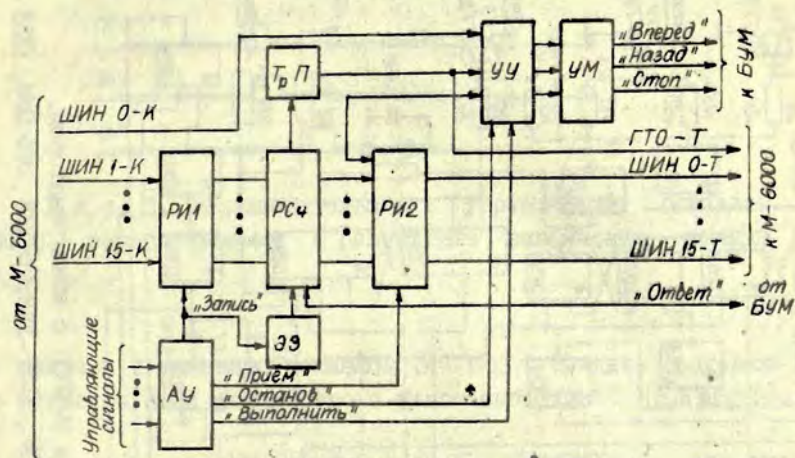
5. Возможность выдачи сигнала "Стоп" до завершения отработки шаговым двигателем кода приращения.

6. Возможность повторной выдачи сигналов "Вперед", "Назад" после останова шагового двигателя (п.5) для продолжения отработки кода.

7. Возможность принятия кода с интерфейса, указывающего, на сколько шагов повернулся шаговый двигатель относительно начала выдачи информационного слова как после останова шагового двигателя (п.5), так и в режиме отработки кода.

Структурная схема разработанного блока показана на рис.6.

Рассмотрим работу схемы. Импульсом "Запись" код с ШИМ I-K-ШИМ I5-K через регистр инверторов заносится в регистр-счетчик. Кроме того, "Запись" поступает на элемент задержки, где формируется единичный импульс счета.Регистр-



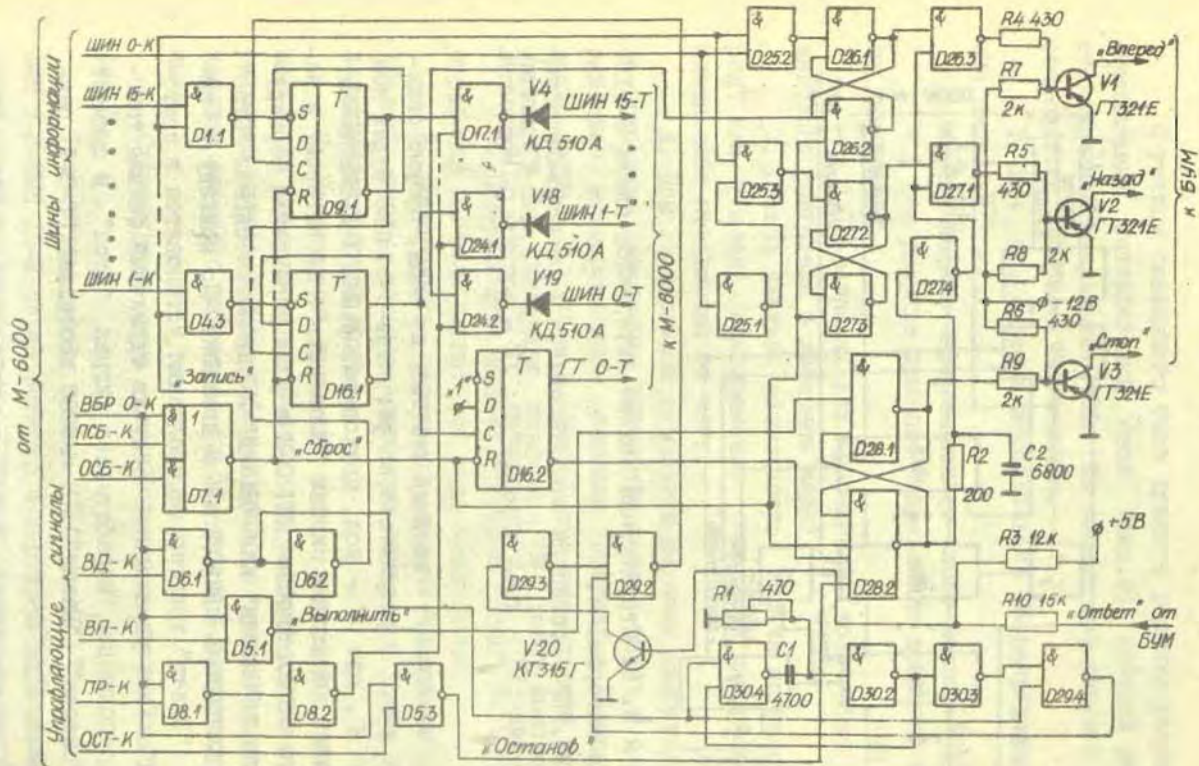
Р и с. 6. Структурная схема интерфейса связи М-6000 с монохроматором.

RI1, RI2 - регистры инверторов; PC4 - регистр-счетчик; AU - адресный узел; ЭЗ - элемент задержки; TP - триггер переполнения; UU - узел управления; UM - усилитель мощности.

счетчик вычитывает входные сигналы из кода, сформированного на нем. В результате на регистре-счетчике будет код $N_{PC4} = N - 1$, где N - код, проходящий с ШИН 1-К-ШИН 15-К.

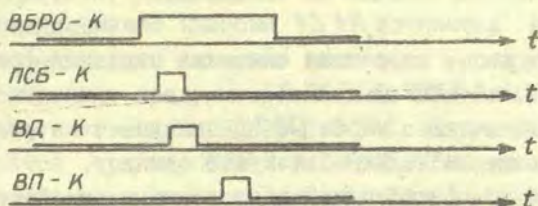
Затем приходит сигнал "Выполнить", по которому в зависимости от состояния ШИН 0-К в узле управления формируется сигнал "Вперед" или "Назад" и снимается сигнал "Стоп". Шаговый двигатель приводится в движение. По приходу N импульсов "Ответ" триггер переполнения установится в состояние "1". Узел управления, получив единичный сигнал триггера переполнения, вырабатывает сигнал "Стоп" и снимает сигнал "Вперед" ("Назад"). В М-6000 поступает ГТ 0-Т, равный единице.

Интерфейс связи М-6000 с монохроматором работает по принципиальной схеме, приведенной на рис.7. Основная рабо-



Р и с. 7. Принципиальная схема интерфейса связи М-6000 с монохроматором.

Все микросхемы серии К155: D1-D5, D25-D27, D29, D30 - ЛБЗ; D6, D8, D16-D24, D28 - ЛБ6; D7 - ЛР1; D9-D16 - ТК2.



Р и с. 8. Последовательность управляющих сигналов М-6000, вырабатываемых в результате выполнения команды $OTA[SC], c$.

та связана с машинной командой $OTA[SC], c$ (выдать содержимое регистра А на устройство с кодом выборки SC) [8] (рис.8).

По сигналам ВБР 0-К·ПСБ-К формируется импульс "Сброс" ($D7.1$), который сбрасывает регистр-счетчик ($D9-D16$), триггер $D16.2$, триггер $D26.1$, $D26.2$, триггер $D27.2$, $D27.3$, триггер $D28.1$, $D28.2$.

Импульс "Запись", образовавшийся в результате конъюнкции сигналов ВБР 0-К и ВД-К, записывает информацию с ШИН I-К-ШИН I5-К через $D1-D4$ на регистр-счетчик, а также фиксирует состояние ШИН 0-К в триггерах $D26.1$, $D26.2$ и $D27.2$, $D27.3$.

Кроме того, импульс "Запись" поступает на схему формирования импульса коррекции кода регистра-счетчика - $D30.4$, $D30.2$, $D30.3$, $D29.4$. Схема представляет собой моновибратор и логическую сборку, формирующую на выходе $D29.4$ импульс, передний фронт которого совпадает с задним фронтом импульса "Запись", а длительность этого импульса равна:

$$\tau_{и.к} = \tau_M - \tau_{зап}$$

где $\tau_{и.к}$ - длительность импульса коррекции, τ_M - длительность импульса моновибратора, $\tau_{зап}$ - длительность импульса "Запись".

Номиналы элементов $R1, C1$ выбраны такими, чтобы задний фронт импульса коррекции опережал передний фронт импульса "Выполнить" (ВЕР О-К. ВП-К).

Полученный импульс через $D29.2$ поступает на регистр-счетчик и из-кода последнего вычитает единицу.

По сигналу "Выполнить" происходит установ триггера $D28.1, D28.2$ в состояние "1". Высокий потенциал на выходе $D28.1$ закрывает транзистор $V3$, сигнал "Стоп" снимается.

Поскольку из-за особенностей блока управления монохроматором не разрешается одновременное изменение нескольких управляющих сигналов, выработка сигналов "Вперед" или "Назад" должна происходить с некоторой задержкой. Это достигается применением интегрирующей цепочки $R2, C2$. Задержанный сигнал триггера $D28.1, D28.2$ через $D27.4$ поступает на $D26.3$ и $D27.1$ и тем самым позволяет передать состояние триггеров $D26.1, D26.2$ и $D27.2, D27.3$ соответственно на транзисторы $V1$ и $V2$. В зависимости от состояния ШИМ О-К вырабатываются сигналы "Вперед" и "Назад", которые поступают на блок управления монохроматором. Шаговый двигатель приводится в движение. При этом от блока управления монохроматором поступают импульсы "Ответ", которые через $R10, V20, D29.2, D29.3, D29.4$ поступают на регистр-счетчик. В момент времени, когда все триггеры регистра-счетчика устанавливаются в состояние "1", положительный скачок напряжения с выхода триггера $D16.1$ устанавливает триггер $D16.2$ в состояние "1". В М-6000 поступает ИТ О-Т, равный 1. Своим инверсным выходом триггер $D16.2$ сбрасывает триггер $D28.1, D28.2$. Низкий потенциал с выхода триггера $D28.1$ открывает транзистор $V3$. Устанавливается сигнал "Стоп". С некоторой задержкой по времени благодаря действию интегрирующей цепочки $R2, C2$ на выходе $D27.4$ появляется низкий потенциал, который через $D26.3$ и $D27.1$ закрывает транзисторы $V1$ и $V2$. Сигналы "Вперед" и "Назад" снимаются. Машина, опрашивая состояние шины ИТ О-Т, в любой момент времени

может убедиться, установлен ли шаговый двигатель в заданном положении.

Для останова шагового двигателя в аварийных и ошибочных ситуациях предусмотрен сигнал "Останов", образуемый в результате конъюнкции ВЕР 0-К·ОСТ-К. По сигналу "Останов" сбрасывается триггер *D28.1*, *D28.2*. Устанавливается сигнал "Стоп" и снимается сигнал "Вперед" ("Назад"). Для дальнейшей работы достаточно подать сигнал "Выполнить". При этом триггер *D28.1*, *D28.2* устанавливается в состояние "1" и далее работа будет продолжаться до тех пор, пока не выработается переполнение. Предусмотрено также чтение состояния регистра-счетчика в любой момент времени сигналом ПРИЕМ = ВЕР 0-К·ПР-К для случая коррекции выданного кода.

Необходимо отметить следующую особенность принципиальной схемы. В усилителях мощности, в отличие от традиционной схемы [4], применяемой для управления внешними устройствами в системе М-6000 и выполненной на двух транзисторах КТ315Г и ГТ403Ж, использован всего один транзистор марки ГТ321Е с большим коэффициентом усиления по току. Это позволило значительно уменьшить габариты схемы за счет незначительного уменьшения нагрузочной способности и выполнить ее на стандартной плате, применяемой в М-6000.

Программирование интерфейсных блоков

Программирование интерфейса связи М-6000 с ВК2-20, подключенного непосредственно к сопряжению 2К, в основном осуществляется по машинной команде ЛТА/В[SC] (принять код с устройства с кодом выборки [SC] на регистр А(В) [9]). После приема кода необходимо проанализировать состояние 0-го разряда. Единица в 0-м разряде указывает на ошибочную ситуацию (прибор не включен или произошел сбой, описанный на с.113). Если 0-й разряд равен нулю, код преобразуется в удобный для дальнейшей обработки (напр., ASCII, код с плавающей запятой и т.д.). При этом необходимо учитывать,

что I-й разряд указывает на полярность измеряемого напряжения. Знаку "-" соответствует состояние логической единицы, знаку "+" соответствует состояние логического нуля. Информация в остальных 14 разрядах содержит величину напряжения в двоично-десятичном коде 8-4-2-1, учитывая диапазон, установленный на вольтамперметре ВК2-20. Далее приведем пример написанной на МНЕМОКОДЕ программы приема информации с ВК2-20.

LIA[SC]		ПРИЕМ КОДА С ВК2-20
STA SAVE		ЗАПИСЬ КОДА В РАБОЧУЮ ЯЧЕЙКУ SAVE
SSA		РАВЕН ЛИ НУЛЕВОЙ РАЗРЯД ЕДИНИЦЕ ?
JMP ERR		ДА.УХОД НА ТОЧКУ ОТКАЗА
STA BUF,I		
*		
SAVE	NOP	РАБОЧАЯ ЯЧЕЙКА.
BUF	DEF IBUF	
IBUF	BSS N	БУФЕР ДАННЫХ

Рассмотрим программирование интерфейса связи М-6000 с монохроматором. Выдача информационного слова на интерфейс реализуется командой ОТА/В[SC] (выдать код с регистра А(В) на устройство с кодом выборки [SC]). При этом на регистре А(В) должен быть код приращения.

Выдачу сигнала "Вперед" ("Назад") можно осуществлять модификацией команды выдачи ОТА/В[SC], с (при этом, кроме выдачи кода приращения, вырабатывается также сигнал "Выполнить") или отдельной командой SFS[SC] (продолжение ввода-вывода), вырабатывающей только сигнал "Выполнить".

Убедиться в завершении отработки шаговым двигателем заданного кода приращения можно командой CLF[SC] (пропуск по готовности). Состоянию ГТ 0-Т, равному единице, соответствует конец отработки.

Останов шагового двигателя до завершения отработки им кода приращения осуществляется командой STF[SC] (останов ввода-вывода).

Информацию о проделанном количестве шагов шаговым двигателем программист может получить, используя команду LIA/V[SC]. Объясним смысл полученной информации на следующем примере. Допустим, что нам необходимо повернуть шаговый двигатель на 25 шагов. При этом выдаваемый код приращения имеет вид $25_{10} = 11001_2$. После коррекции код на регистре-счетчике равен 11000_2 . Предположим, что опрашиваем интерфейс после останова шагового двигателя на десятом шаге, т.е. когда код регистра-счетчика равен 01110_2 .

Командой LIA/V[SC] будет принят именно этот код, поскольку информация до прихода на регистр A(B) дважды инвертируется: первый раз на регистре инверторов (РИ2 рис.6) и второй раз в процессоре M-6000. Прибавляя к полученному результату единицу, получаем число 15_{10} , указывающее сколько шагов осталось совершить шаговому двигателю по отношению к заданному выше коду 25_{10} .

Фрагмент программы управления монохроматором,
написанной на МНЕМОКОДЕ

LDA STEP	ПЕРЕДАЧА КОДА ПРИРАЩЕНИЯ STEP
STA[SC]	НА ИНТЕРФЕЙС С КОДОМ ВЫБОРКИ SC
*	
CLF[SC]	ВЫДАТЬ ВУМ СИГНАЛ "ВПЕРЕД" ("НАЗАД")
*	
STF[SC]	ВЫДАТЬ ВУМ СИГНАЛ "СТОП", СНЯТЬ СИГНАЛ "ВПЕРЕД" ("НАЗАД")
*	
LIA[SC]	ПРИЕМ КОДА С РСЧ ИНТЕРФЕЙСА
INA	РАСЧЕТ КОЛИЧЕСТВА ОСТАВШИХСЯ
STA DELTA	ШАГОВ ШД
*	

CLF[SC]	ПОВТОРНАЯ ВЫДАЧА ВУМ СИГНАЛОВ
*	"ВПЕРЕД" ("НАЗАД")
SFS[SC]	КОНТРОЛЬ ЗАВЕРШЕНИЯ ОТРАБОТКИ
JMP FOLL	КОДА ПРИРАЩЕНИЯ
JMP COMPL	
*	
STEP NOP	КОД ПРИРАЩЕНИЯ
DELTA NOP	СЧЕТЧИК ОСТАВШИХСЯ ШАГОВ ШД
*	
FOLL *	СЕКЦИЯ ПРОДОЛЖЕНИЯ ОТРАБОТКИ
*	КОДА ПРИРАЩЕНИЯ
COMPL *	СЕКЦИЯ ЗАВЕРШЕНИЯ ОТРАБОТКИ
*	КОДА ПРИРАЩЕНИЯ

ЛИТЕРАТУРА

1. Вольтамперметр электронный цифровой ВК2-20. Техническое описание, инструкция по эксплуатации и поверке. Гд. 2.729.000Т0. Альбом I. 57 с.
2. Вольтамперметр электронный цифровой ВК2-20. Схемы принципиальные электрические. Альбом 2. 51 с.
3. Модуль ввода дискретной информации А622-2. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. 3.035.017Т0. 37 с.
4. Модуль привязки цифровых измерительных приборов А611-15. Северодонецк, 1976. 2 с.
5. Логическая компоновка систем на базе процессора М-6000 АСВТ-М. Руководящий технический материал. Северодонецк, 1972. 182 с.
6. Янсон Я.Л., Страумен Я.Я., Тарденак Э.Э. Преобразователь код-угол для управления монохроматором. - "Учен. зап. Латв. ун-та", 1972, т.170, с.201-215.
7. Модуль кодового управления бесконтактный А641-2. Руководство по эксплуатации. 3.035.023РЭ. 37 с.
8. Модуль ввода инициативных сигналов А622-4. Руководство по эксплуатации. 3.035.018РЭ. 45 с.
9. МНЕМОКОД. Руководство по программированию. 3.131.000 ОП. 149 с.

Статья поступила 16 декабря 1977 года.

А.А.Кристин, С.А.Елабис, Ю.К.Вейнбергс
НИИ ФТТ ЛГУ им.Петра Стучки

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ БЛОКИ ПИТАНИЯ ДЛЯ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА, ПРИМЕНЯЕМЫХ В НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ СИСТЕМАХ

Рассматриваются вопросы построения блоков питания для источников ультрафиолетового, видимого и ближнего инфракрасного излучения на базе промышленных газоразрядных ламп типа ДДС-30, ДДС-250, ДДС-400, ДКСШ-200, ДРШ-250, а также для плазматронов с горячим катодом. Предлагается при конструировании блоков питания использовать непрерывно-импульсный метод стабилизации тока. Приводятся рекомендации по выбору всех узлов таких стабилизаторов. Анализируются возможности защиты блоков питания от аварийных режимов работы и способы пуска газоразрядных ламп. Приводятся технические данные разработанных блоков питания, а также подробная блок-схема блока питания для лампы ДДС-400.

Большинство научно-исследовательских систем, применяемых для изучения свойств твердого тела, содержит набор источников света, которые дают излучение в ультрафиолетовой, видимой и инфракрасной областях спектра. Большая часть таких источников не имеет промышленных блоков питания (БП) или же эти блоки не удовлетворяют предъявляемым требованиям.

В настоящей статье рассматриваются вопросы построения БП для источников ультрафиолетового, видимого и ближнего инфракрасного излучения на основе серийных газоразрядных ламп типа ДДС-30, ДДС-250, ДДС-400, ДКСШ-200, ДРШ-250, а также для источников вакуумного ультрафиолета - дуоплазматронов с горячим катодом [1].

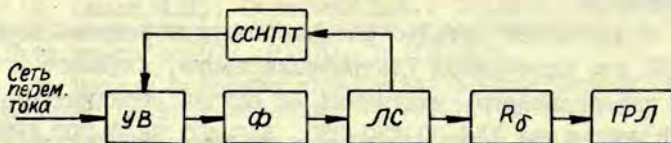
Основная трудность при разработке таких блоков питания заключается в том, что требуется обеспечить широкий диапазон выходных напряжений при довольно больших стабилизированных токах через лампу. Например, напряжение на лам-

пе ДДС-400 меняется в пределах от 200 до 70 В при изменении тока через лампу от десятых долей ампера до 5-6 ампер.

Применение в БП широкоизвестных линейных стабилизаторов, хотя и дает хорошую стабилизацию по току, но требует мощного блока параллельно и/или последовательно включенных проходных транзисторов (ПТ) регулирующего элемента. При этом БП получаются громоздкими, имеют весьма низкий к.п.д. и недостаточную надежность [2,3]. Использование же популярных в последнее время импульсных стабилизаторов обеспечивает высокий к.п.д., однако стабильность выходных напряжений и тока недостаточна [4]. Поэтому при разработке БП авторами были использованы положительные качества как тех, так и других стабилизаторов и разработан ряд непрерывно-импульсных стабилизаторов тока, выполненных по принципу предварительной стабилизации напряжения на проходных транзисторах регулирующего элемента, причем в качестве предварительного стабилизатора использован тиристорный управляемый выпрямитель, обратная связь на который поступает от системы слежения за напряжением на проходном транзисторе регулирующего элемента линейного стабилизатора.

Во всех случаях (за исключением БП для лампы ДДС-30) используется трехфазная сеть переменного тока, что позволяет существенно уменьшить габариты фильтров и БП в целом.

На рис. I изображена упрощенная блок-схема, в соответствии с которой построены все БП.



Р и с. I. Блок-схема блока питания.

ССНПТ - система слежения за напряжением на проходном транзисторе регулирующего элемента линейного стабилизатора; УВ - тиристорный управляемый выпрямитель; Ф - индуктивно-емкостный фильтр; ЛС - линейный стабилизатор; R_{δ} - балластный резистор; ГРЛ - газоразрядная лампа.

Л.М.Кузьмина, Н.А.Круглова, В.А.Растопчина
НИИ ФТТ ЛГУ им.Петра Стучки

ДИАЛОГОВАЯ ПРОГРАММА ДЛЯ АНАЛИЗА ИК-СПЕКТРОВ ПОГЛОЩЕНИЯ

Рассматривается диалоговая программа, предназначенная для разложения ИК-спектров поглощения на элементарные полосы, описываемые гауссовыми или лоренцевыми функциями. В режиме диалога пользователь задает число полос и начальные приближения параметров полос. Оптимальные оценки параметров определяются методами оптимизации. Посредством директив пользователь может варьировать алгоритм обработки.

Начиная с 1971 года успешно эксплуатируется диалоговая система ВАРИАТОР-2, реализованная на ЦВМ "Днепр-1" [1-3]. Одной из задач, решаемых в системе ВАРИАТОР-2, является разложение спектров на элементарные полосы, описываемые гауссовыми или лоренцевыми функциями. Разложение ведется в процессе непрерывного взаимодействия пользователя с ЦВМ: пользователь вращает ручки потенциометров на специальном пульте, задавая значения параметров полос; машина опрашивает потенциометры, синтезирует спектр и одновременно с исходным спектром и кривой невязок выводит его на экран осциллоскопа. Наблюдая за кривой невязок, пользователь последовательно подгоняет параметры всех полос. Степень совпадения исходного спектра с синтезированными пользователь оценивает ориентировочно, поэтому найденные оценки параметров не являются оптимальными. При наличии в спектре большого числа полос пользователю трудно определить, какой из параметров которой полосы надо менять, чтобы улучшить совпадение исходного спектра с синтезируемым.

Рассматриваемая в данной статье диалоговая программа реализована на УВК М-6000 с оперативной памятью 16К слов. Режим диалога с машиной организован с клавиатуры графического дисплея СИГД. Числовые параметры вводятся с клавиатуры дисплея СИД-1000, а сообщения машины выводятся на его

экран. Программа написана на расширенном BASIC*. Основное отличие алгоритма разложения спектров на элементарные полосы данной программы от алгоритма, реализованного в системе ВАРИАТОР-2, состоит в том, что пользователь в режиме диалога задает число полос в спектре и лишь начальные приближения параметров полос; оптимальные оценки этих параметров находятся методами оптимизации.

После запуска программа запрашивает у пользователя вид функции, описывающей элементарную полосу (рис.). Это может быть гауссова функция

$$Y(x) = A \exp[-2,7762(x-B)^2/C^2]$$

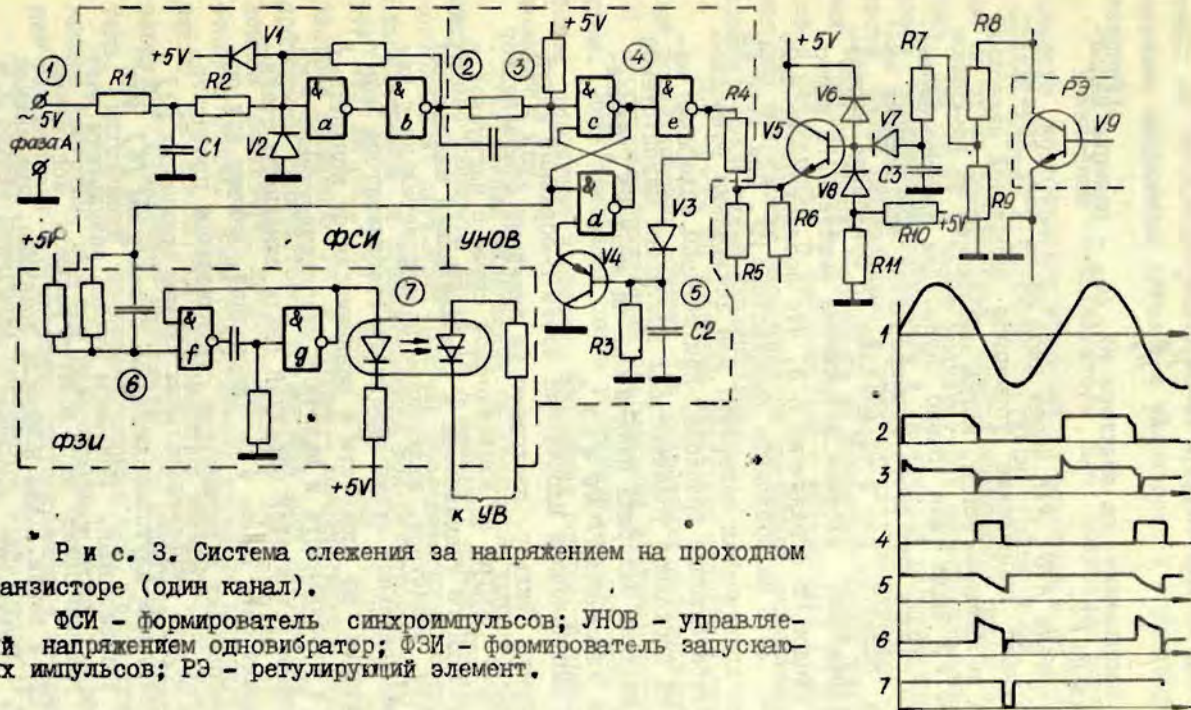
или функция Лоренца

$$Y(x) = A / [1 + 4((x-B)/C)^2],$$

где A - максимальное значение амплитуды полосы, B - положение максимума, C - полуширина полосы. Получив ответ, программа начинает опрос клавиатуры СИГД. 12-ти директивам пользователя соответствуют следующие символы клавиатуры СИГД: .

- В - ввод спектра с перфоленты и вывод его в виде графика на экран СИГД;
- Л - логарифмирование спектра;
- Ф - вычитание линейного фона из спектра;
- И - определение площади под спектром;
- М - задание в режиме диалога начальных значений параметров одной из выбранных пользователем полос;
- С - определение суммарной модели спектра, в которую входят все полосы, заданные пользователем;
- О - модуль оптимизации параметров полос;
- П - печать начальных и полученных в результате оптимизации значений параметров полос;
- Г - вывод на самопишущий прибор разлагаемого спектра отдельных полос;
- Э - ввод эталона для проверки работоспособности программы;

* Кузьмина Л.М., Кузьмин Ю.Я. Расширение BASIC М-6000. См. наст. сб. с. 46-58.



Р и с. 3. Система слежения за напряжением на проходном транзисторе (один канал).

ФСИ - формирователь синхроимпульсов; УНОВ - управляемый напряжением одновибратор; ФЗИ - формирователь запускающих импульсов; РЭ - регулирующий элемент.

$$U'_{c2} = U_{V5} - U_{V3} - \frac{U_{V5} - U_{V3}}{1 + \frac{R_4}{R_3}},$$

где U_{V5} - напряжение на эмиттере $V5$, U_{V3} - падение напряжения на диоде $V3$.

С делителя $R10$, $R11$ через диод $V8$ на базу транзистора $V5$ поступает напряжение установки начальной задержки УНОВ, что необходимо тогда, когда напряжение на проходном транзисторе $V9$ мало или равно нулю. Для предотвращения дальнейшего сдвига импульсов формирователя запускающих импульсов в область, где к тиристорам $УВ$ приложено отрицательное напряжение, входное напряжение эмиттерного повторителя $V5$ диодом $V8$ ограничено 5 В, что соответствует приблизительно 10 В на проходном транзисторе $V9$. При этом $УВ$ должен быть практически запертым. Для исключения возможного автоколебательного процесса, при котором колебания напряжения на проходных транзисторах достигают недопустимой величины, введена задержка подачи $U_{пт}$ на вход $V5$, формирующаяся на элементах $R7-R9$ и $C3$.

С $УВ$ выпрямленное напряжение через Г-образный индуктивно-емкостный фильтр поступает на линейный стабилизатор тока, который собран по классической схеме с нагрузкой в эмиттере проходного транзистора и стабилизацией напряжения на эталонном резисторе, включенном последовательно с нагрузкой. Принципиальные схемы линейного стабилизатора могут быть различными по сложности в зависимости от конкретных требований к стабильности и величине стабилизируемого тока. Схема сравнения усилителей обратной связи линейного стабилизатора может быть одно- и двухкаскадной, причем при повышенных требованиях к параметрам стабилизатора предпочтительнее следует отдать дифференциальным схемам сравнения [2] с токостабилизирующим двухполюсником на биполярном [6] или полевом [7] транзисторах. При этом лучшие результаты дает применение транзисторных пар в интегральном исполнении, например, 159-й серии. Как показала практика, применение операционных усилителей широкого потребления (140УТ1, 140УТ2, 153УТ1) в качестве схемы сравнения для рассматри-

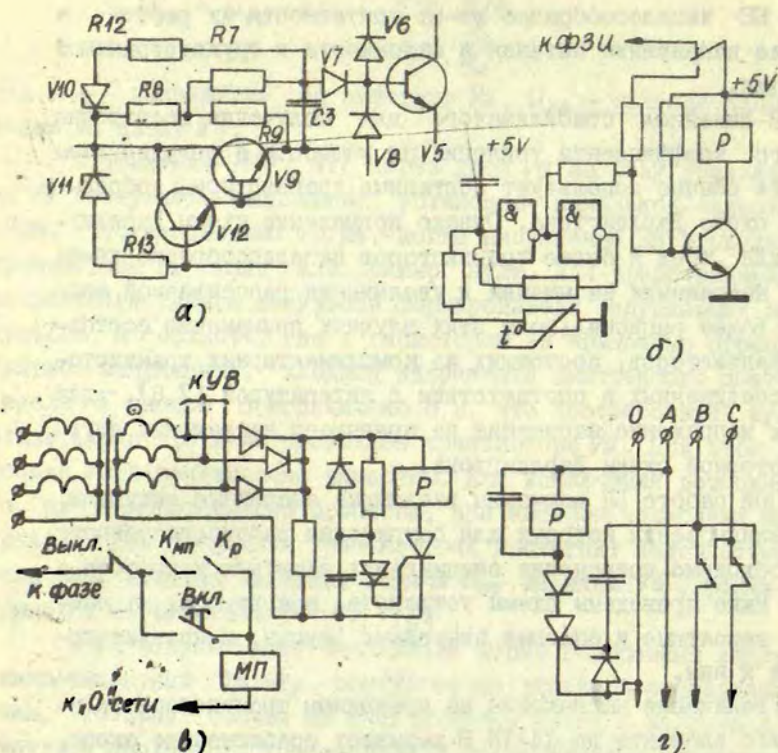
ваемых БП нецелесообразно из-за критичности их работы к величине напряжения питания и склонности к трудоустраиваемой генерации.

В линейном стабилизаторе для получения достаточно большого коэффициента усиления по мощности в регулирующем элементе обычно используют составные транзисторы, собранные по схеме Дарлингтона. Однако применение схемы Дарлингтона для трех и более транзисторов нецелесообразно из-за роста напряжения насыщения и увеличения рассеиваемой мощности. Более рационально в этих случаях применение составных транзисторов, состоящих из комплиментарных транзисторов и соединенных в соответствии с литературой [7,8], для которых напряжение насыщения не превышает напряжения двухтранзисторной схемы Дарлингтона.

При работе БП возможны различные аварийные ситуации, при возникновении которых для сохранения работоспособности БП необходимо применение специальных защитных устройств и схем. Ниже приведены схемы устройств, реагирующих на наиболее вероятные и опасные аварийные режимы, и краткие пояснения к ним.

Увеличение напряжения на проходном транзисторе регулирующего элемента до 14-16 В вызывает срабатывание схемы, состоящей из двух-трех цепочек последовательно соединенных стабилитронов и ограничивающих ток резисторов (*V10, R12* и *V11, R13* на рис.4,а). При этом одна из цепочек вызывает быстрое запирающее УВ, а другая - дополнительное открывание проходного транзистора. Чрезмерный рост напряжения на эталонном резисторе предотвращается шунтирующим его мощным стабилитроном. Если срабатывание схемы не приводит к снижению напряжения на регулирующем элементе, то ток в цепи нагрузки возрастает настолько, что перегорает предохранитель, включенный последовательно с ней. Такой тип защиты вполне допустим, так как газоразрядные лампы без последствий выдерживают многократные кратковременные перегрузки.

• В случае перегрева проходного транзистора ($T = 85^{\circ}C$) срабатывает устройство, состоящее из триггера Шмитта с



Р и с. 4. Устройства, защищающие блоки питания при резком увеличении напряжения на проходном транзисторе регулирующего элемента (а), при перегреве проходного транзистора регулирующего элемента (б), при пропадании одной или более фаз (в), при изменении чередования фаз (г).

MI - магнитный пускатель; P - реле.

терморезистором на входе и транзистора, в коллекторную цепь которого включена обмотка реле, имеющего переключающую контактную группу. Реле отключает формирователь запускающих импульсов, и цепь нагрузки за счет полного запираания УВ обесточивается (рис. 4, б).

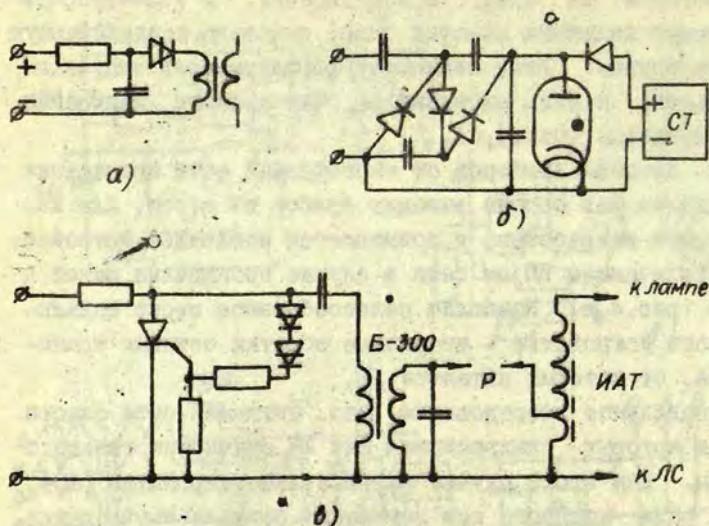
При питании приборов от многофазной сети пропадание одной и более фаз обычно выводит прибор из строя. Для избежания этого разработано и применяется неслужное устройство [9], отключающее БП от сети в случае пропадания одной и более фаз (рис. 4, в). Наиболее целесообразное место подключения такого устройства - вторичные обмотки сетевых трансформаторов, от которых питается УВ.

Неправильное чередование фаз питающей сети опасно для БП, в которых синхросигнал для УВ снимается только с одной фазы. Для этого случая разработано устройство [10]; контакты реле которого при изменении порядка чередования фаз коммутируют либо две любые фазы питающей сети, либо две цепи управления УВ (рис. 4, г).

Кроме стабилизатора тока, БП для газоразрядных ламп включает в себя источник накального напряжения, схему поджига (пуска) лампы и схемы контроля наличия стабилизации тока через лампу.

Простейший источник накального напряжения представляет собой накальный трансформатор, первичная обмотка которого питается от ЛАТРа. В другом варианте вместо ЛАТРа используется бытовой регулятор напряжения типа СР-03-1. Последний вариант выигрывает по габаритам и весу, но имеет небольшой скачок напряжения на начальном участке диапазона, чего не имеет первый вариант.

Схемы пуска газоразрядных ламп низкого давления имеют в основном две разновидности: релаксационный генератор на базе динисторов или тиристоров в сочетании с импульсным трансформатором, вторичная обмотка которого включена последовательно с нагрузкой (рис. 5, а), и схема умножения напряжения с защитным диодом в цепи нагрузки (рис. 5, б). Схема пуска для ламп высокого и сверхвысокого давления,



Р и с. 5. Схемы пуска газоразрядных ламп низкого давления (а и б) и высокого и сверхвысокого давления (в).

СТ - стабилизатор тока; ИАТ - импульсный автотрансформатор.

например, для ламп ДЖШ-200, представлена на рис.5,в. В отличие от схем пуска, рекомендуемых заводами-изготовителями, а также от описанных в литературе [11,12], данная схема имеет существенно лучшие весогабаритные показатели и большой к.п.д.

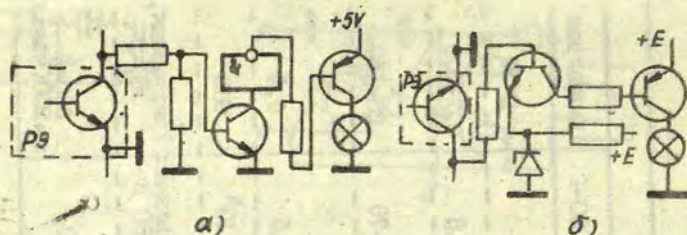
Для облегчения контроля работы БП служат схемы контроля наличия стабилизации тока через нагрузку. Оба варианта (рис.6) включают сигнальную лампу "Стабилизация" при достижении напряжения на проходном транзисторе регулирующего элемента порядка 3 В. Первая схема в качестве порогового элемента использует логический элемент ТТЛ-ИС со свободным коллектором, вторая - опорный стабилитрон.

ССНПТ и устройства контроля питаются от отдельного простейшего стабилизатора напряжения на основе составного

Т а б л и ц а

Основные параметры БП для газоразрядных ламп

Параметры БП	Т и п л а м п ы					
	ДДС-30	ДДС-250	ДДС-400	ДКСШ-200	ДРШ-250-2	Плазматрон
Ток накала, А	0-3,5	0-15	0-15	-	-	0-20
Ток нагрузки, А	0,3	2,5	3,6-6,5	10	7,8	0,7-5,0
Напряжение в нагрузке, В	50-150	60-160	60-200	20-70	20-70	20-160
Нестабильность тока в % от номинального менше	0,1	0,2	0,5	0,5	0,5	0,5
Напряжение запуска, В	400	450-600	450-600	3 10^4	2 10^4	600
Сеть, 50 Гц	Однофазная, 220 В	Трёхфазная, 380 В	Трёхфазная, 380 В	Трёхфазная, 380 В	Трёхфазная, 380 В	Трёхфазная, 380 В
Максимальная потребляемая мощность, Вт	100	600	840	450	500	600+ +200(накал)



Р и с. 6. Схемы контроля с логическим элементом (а) и со стабилитроном (б).

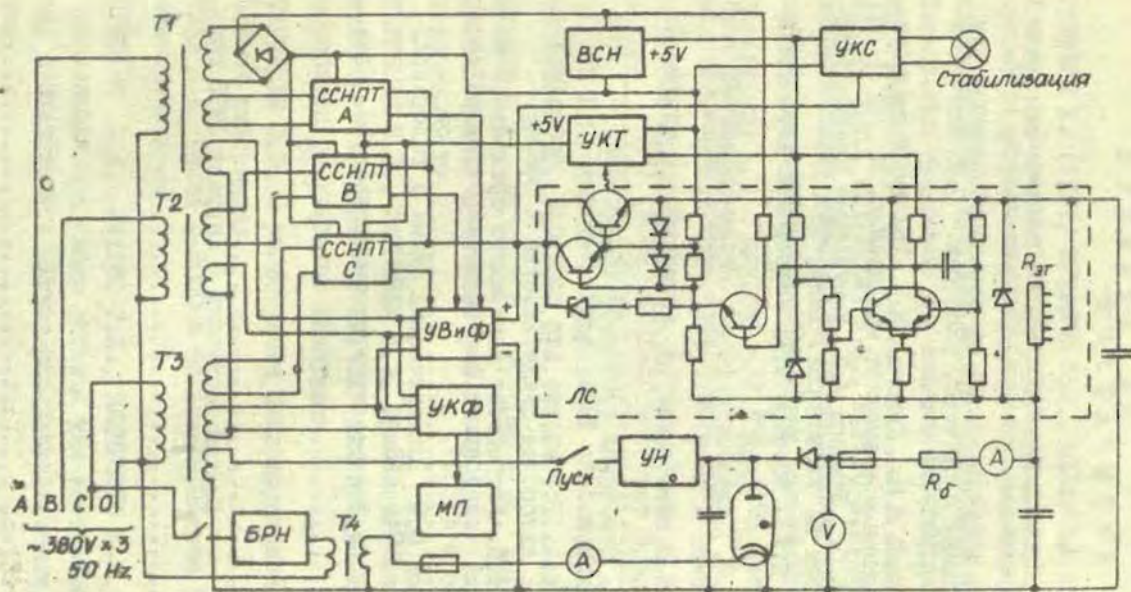
эмиттерного повторителя и опорного стабилитрона в цепи его базы, дающего выходное напряжение +5 В.

В качестве силовых трансформаторов используются серийные трансформаторы ТС-200 и ТС-280 по одному на каждую фазу. Вторичные обмотки, подключенные к УВ, соединены в звезду.

Так как газоразрядные лампы имеют падающую вольт-амперную характеристику, то в БП в случае необходимости встраивается также балластный резистор, величина которого в любом случае должна быть больше отрицательного динамического сопротивления лампы при данном токе через нее. Лишь при выполнении этого условия горение ламп стабильно.

В таблице приведены основные параметры БП для газоразрядных ламп.

На рис.7. в качестве примера приведена подробная структурная схема БП для лампы ДДС-400.



Р и с. 7. Блок-схема блока питания для лампы ДДС-400.

УКС - устройство контроля стабилизации; УКТ - устройство контроля температур; УКФ - устройство контроля наличия фаз; УН - умножитель напряжения; ВСН - вспомогательный стабилизатор напряжения; БРН - бытовой регулятор напряжения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Samson A.R. Techniques of Vacuum Ultraviolet Spectroscopy. GSA Corporation, New York-London-Sydney. 1967.
2. Источники электропитания на полупроводниковых приборах (проектирование и расчет). Под ред. С.Д.Додика, и И.И.Гальперина М., 1969. 448 с.
3. Белопольский И.И., Тихонов В.И. Транзисторные стабилизаторы на повышенные и высокие напряжения. М., 1971. 80 с.
4. Руденко В.С., Денисов А.И. Импульсные преобразователи и стабилизаторы на тиристорах. Киев, 1972.
5. Снаржеца В.А., Морозов А.А. Устройства автоматики на тиристорах. Киев, 1974. 224 с.
6. Карпиз В.И. Полупроводниковые компенсационные стабилизаторы напряжения и тока. М., 1967. 177 с.
7. Арефьев Л.Д. Стабилизатор постоянного напряжения +20 В. Информационный листок № 75-1379. ВИМИ, 1975.
8. Бервен Е. Строенный составной транзистор. - "Электроника" (русский перевод), 1974, № 20, с.59.
9. Кристин А.А. Устройство для контроля пропадания одной и более фаз. Авторское свидетельство № 558342.
10. Кристин А.А. Устройство для защиты трехфазной нагрузки от изменения чередования фаз питающей сети. Авторское свидетельство № 421087.
11. Фугенфиров М.И. Электрические схемы с газоразрядными лампами. М., 1974. 368 с.
12. Векслер Г.С. Электропитание спецаппаратуры. Киев, 1975. 376 с.

Статья поступила 6 февраля 1978 года.

СО Д Е Р Ж А Н И Е

I.	ГЛЭФЕКЕ Х. (ГДР), КУЗЬМИН Ю.Я., НАЗАРОВА А.Н. Диалоговая система РИГА-РОСТОК для анализа кривых типа термостимулированной люминесценции.....	3
2.	КУЗЬМИНА Л.М., КРУГЛОВА Н.А., РАСТОПЧИНА В.А. Диалоговая программа для анализа ИК-спектров по- глощения.....	13
3.	АДАВИЧ П.Н., ИНДУЛЕВИЧ Я.Я., ШТРАУС В.Д. Система автоматизации определения электрических релакса- ционных характеристик полимерных материалов.....	29
4.	ВЫДЕГЖАНИН Б.В., РЫБАКОВ И.Р., ШАРОВ Е.М. Обработ- ка информации фурье-спектрометра МФС.....	39
5.	КУЗЬМИНА Л.М., КУЗЬМИН Ю.Я. Расширение BASIC M-6000.....	46
6.	ПУРАНС Ю.Я. Анализ спектров ЭПР Mn^{2+} в поликрист- таллах.....	59
7.	ПУРАНС Ю.Я., БЕГУН Г.Г., КУЗЬМИН Ю.Я., АМАНИС И.К. Автоматизация спектрометров РЭ-1301 и SPRECORD-72 IR.....	71
8.	ТАРДЕНАК Э.Э., КАЛНИНЫШ А.В. Применение микрокаль- кулятора "Электроника БЗ.18А" для предварительной обработки результатов измерения.....	81
9.	ТАРДЕНАК Э.Э. О регистрации многоразрядной графиче- ской информации.....	95
10.	ГУЖА И.А. Связь M-6000 с вольтамперметром ВК2-20 и монокроматором.....	109
II.	КРИСТИН А.А., ЖЛАБИС С.А., ВЕЙНБЕРГС Ю.К. Спе- циализированные блоки питания для источников све- та, применяемых в научно-исследовательских систе- мах.....	125